Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXVI. Jahrgang. 1923. Drittes Heft.

Zum Unterricht in der Elektrizitätslehre.

Von Hofrat Dr. Karl Rosenberg, tit. ord. Universitätsprofessor in Graz.

Unter dem Titel „Die drei Grundversuche der Elektrizitätslehre" hat Herr Geheimrat Prof. E. Orlich im vorigen Heft dieser Zeitschrift für den Lehrgang der Elektrizitätslehre an unseren höheren Schulen neue Richtlinien aufgestellt, die unzweifelhaft ein hohes Interesse beanspruchen können und über die ein lebhafter Meinungsaustausch sehr erwünscht erscheinen muß.

Wenn ich im nachfolgenden zu diesem Gegenstand das Wort ergreife, so glaube ich dazu durch den Umstand berechtigt zu sein, daß ich auf fast vierzigjährige Erfahrungen auf dem Gebiete des physikalischen Unterrichts zurückblicken darf. Nahezu 20 Jahre habe ich selbst an den verschiedensten Kategorien höherer und niederer Schulen dieses Fach unterrichtet und fast ebensolange habe ich durch meine Stellung als Landesschulinspektor Gelegenheit gehabt, in den Unterrichtsbetrieb anderer Lehrer (unter denen hervorragende Lehrer dieses Faches waren!) genauen Einblick zu nehmen. Es ist also ein alterfahrener Schulmann, der um Gehör bittet und den eine Art von Pflichtgefühl förmlich nötigt, seine Erfahrungen in den Dienst der Allgemeinheit zu stellen.

Es wäre überflüssig, an dieser Stelle näher auszuführen, wie umwälzend im Laufe der letzten fünfzig Jahre die sich geradezu überstürzenden Entdeckungen und Erfindungen auf dem Gebiete der Elektrizitätslehre auf das Leben der Menschheit und auf ihre ganze kulturelle Entwicklung gewirkt haben. Glücklich der Mensch, der diese Zeit miterleben durfte! Eine neue ausgebreitete Wissenschaft ist in jener Zeit entstanden, eine Wissenschaft, die man als Elektrotechnik bezeichnete und die eine von Jahr zu Jahr wachsende Fülle von Anwendungen der Elektrizität auf den verschiedensten Gebieten in sich faßte. Oft von einer einzigen Tatsache ausgehend, die zu finden einem gelehrten Forscher in der Stille seines Laboratoriums geglückt war, haben andere kluge und findige Männer den ersten, oft unscheinbaren Faden weiter gesponnen und auf neuen Wegen Erfolge erzielt, die vielleicht der ursprüngliche Pfadfinder kaum geahnt haben mochte. Auf die grundlegenden Entdeckungen eines Faraday, Siemens, Hertz, Röntgen und anderer stützen sich heute Einzelwissenschaften von einem Umfang und Inhalt, den zu meistern einem einzelnen Menschen kaum mehr möglich sein dürfte.

Angesichts dieser stürmischen Aufwärtsentwicklung der angewandten Elektrizitätslehre hatten die Schulen und ihre Lehrer seit langem einen schweren Stand. Von der Verpflichtung, der Jugend in die sich plötzlich auftuenden neuen Gebiete Einblick zu verschaffen, war wohl jeder Lehrer der Physik durchdrungen; aber die Enge der zur Verfügung stehenden Zeit und der Mangel der erforderlichen Unterrichtsbehelfe auf der einen Seite und anderseits der Umstand, daß hier vielfach Materien zu behandeln waren, die über das durchschnittliche Fassungsvermögen des Großteils der Schülerschaft hinausgingen, das alles mußte hemmend und einschränkend wirken. Und dazu kam noch eine weitere Erwägung. So manche Erfindung, die im ersten Augenblick geeignet erschien, eine förmliche Umwälzung auf diesem oder jenem Gebiete hervorzurufen, war nach einigen Jahren durch weit Vollkommeneres ersetzt und

überholt; man denke nur allein an das Kapitel der elektrischen Beleuchtung. War da nicht auch insofern Vorsicht geboten, als die Schule doch nur Dinge in ihren Lehrstoff aufnehmen sollte, die ein unbestrittener und dauernder Besitz der Allgemeinheit geworden sind? Und Hand in Hand damit ging es, daß bei allen etwaigen Ausgestaltungen und Umgestaltungen des Lehrplanes doch vor allem die Aufgabe und der Zweck der betreffenden Schulkategorie im Auge behalten werden mußte. Für die höheren Schulen (Gymnasien, Realschulen, Realgymnasien usw.) Österreichs, die dort unter dem Sammelnamen „Mittelschulen" zusammengefaßt werden, war diese Aufgabe im Organisationsentwurf vom Jahre 1849 in den folgenden Sätzen ausgesprochen, die wohl auch anderwärts und auch noch heutzutage volle Geltung besitzen dürften: „In erster Linie haben diese Schulen die Aufgabe, eine höhere allgemeine Bildung zu vermitteln, und zwar die Gymnasien unter wesentlicher Benützung der alten klassischen Sprachen und ihrer Literatur, die Realschulen mit besonderer Berücksichtigung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer." Und ferner haben diese Schulen den Zweck — aber das steht, wohlgemerkt, an zweiter Stelle! — „dadurch auch zugleich die Vorbereitung für die Hochschulen (die Gymnasien für die Universitäten, die Realschulen für die verschiedenen technischen Anstalten) zu vermitteln." Und ich meine, daß sich daran auch heutzutage nichts Wesentliches geändert hat. Die Hochschule muß sicherlich unerbittlich an der Forderung festhalten, daß die in den höheren Schulen erreichte allgemeine Bildung ein verläßliches Fundament für jene streng wissenschaftliche Schulung bildet, die anzustreben und zu erreichen die Aufgabe jeder Hochschule ist und bleibt. Aber die Mittelschule muß es ablehnen, als Vorbereitungsschule für die Hochschule betrachtet zu werden. Sie könnte ja auch ganz unmöglich allen Forderungen der Hochschule gerecht werden[1]). Wenn Herr G.-R. Orlich seine Ausführungen mit den Worten schließt: „Dem Unterricht in den Hochschulen würde durch eine solche Umstellung des vorbereitenden Unterrichtes ein wesentlicher Dienst geleistet werden", so klingt daraus der sicherlich ganz begreifliche Wunsch heraus, daß die sich der Elektrotechnik zuwendenden jungen Leute für dieses Studium von der Mittelschule aus intensiver vorbereitet werden sollen. Mit dem gleichen Rechte würden die medizinischen Fakultäten eine erweiterte Vorbildung in der Naturgeschichte, ferner in der Biologie und Chemie, die juristischen Fakultäten eine solche in der pragmatischen Geschichte und in der Volkswirtschaftslehre usw. verlangen können. Und in diesem Übermaß sich gegenseitig gar nicht berücksichtigender Einzelforderungen müßte dasjenige totsicher untergehen, was die Volksgemeinschaft als wichtigste und am schwierigsten zu erfüllende Forderung an die höheren Schulen stellen muß, und was als das vornehmste Ziel aller Jugendbildung immer gegolten hat: gebildete, edle Charaktere zu bilden. Hinter diesem für das Volkswohl unendlich wertvollen Ziele unserer höheren Schulen müssen Einzelwünsche dieser und jener Hochschulfakultäten und Fachschulen zurückstehen. Und es ist dies durchaus nicht so schlimm, als man hier und da zu glauben scheint. Denn etwa verbleibende Lücken in diesem oder jenem Wissensgebiete lassen sich durch richtige Führung seitens der Lehrer und durch verständige Mitarbeit von seiten der Lernenden jederzeit und ohne alle Schwierigkeit ausfüllen. Der Verlust einer harmonischen Geistes- und Charakterbildung aber, die sich als Gesamtwirkung aus

[1]) Auch unser der Technik nahestehender Altmeister der physikalischen Didaktik, Fr. C. G. Müller, sagt in seiner Technik des physikalischen Unterrichts (Vorwort S. IV): „Die Schule soll die Grundlagen der Allgemeinbildung geben und nicht etwa Physiker, Chemiker oder Techniker ausbilden. Für die wenigen Abiturienten, welche sich naturwissenschaftlichen Fachstudien widmen wollen, braucht die Schule den großen kostspieligen Apparat des Experimentalunterrichts eigentlich am wenigsten; denn diese werden bei ihrem späteren Studium in den Hörsälen und Laboratorien weit mehr finden, als die Schule zu bieten vermag. Aber die Juristen, Philologen und Theologen, sowie alle die andern zahlreich abgehenden Schüler, welche voraussichtlich niemals wieder einem naturwissenschaftlichen Vortrag beiwohnen werden, sollen im Schulunterricht eine richtige Vorstellung von der Methode und dem Geist echter Naturforschung in sich aufnehmen."

zahlreichen Einzelkomponenten ergeben soll, dieser Verlust kann im späteren Leben niemals mehr gutgemacht werden. So unterliegt es für mich — und wohl auch für die überwiegende Mehrzahl aller Schulmänner — gar keinem Zweifel, daß die einzelnen Fachgebiete, die in unseren höheren Schulen behandelt werden, einander gegenseitig Rechnung tragen müssen und daß bei jeder Prüfung der Lehrziele dieser Unterrichtsfächer in erster Linie immer die Frage stehen muß, was aus diesen Gebieten dem Zwecke der allgemeinen Geistes- und Charakterbildung am besten zu dienen vermag, und daß erst in zweiter Linie die rein praktischen Fragen nach der Nützlichkeit des Gelernten für das künftige Studium an der Hochschule und nach der Verwertbarkeit des Gelernten in späteren Lebensberufen ins Auge zu fassen sind. Wenn jeder von uns, die wir heute irgend eine Stellung in der menschlichen Gesellschaft bekleiden und dadurch Mitarbeiter geworden sind an der großen Arbeit der Allgemeinheit, sich die Gewissensfrage vorlegt, was er von dem in der Mittelschule erworbenen Wissen bei seiner beruflichen Tätigkeit verwenden kann, so wird — wenn man absieht von der Beherrschung der Muttersprache, die jede Art von Schulen ja ganz besonders anstreben muß — vielleicht nicht allzuviel übrig bleiben. Wir haben vieles gelernt, um es später in seinen Einzelheiten zu vergessen, und dieser Verlust hat uns keinen wesentlichen Schaden zugefügt. Kein vernünftiger Mensch wird es aber bedauern, daß er diese Dinge überhaupt einmal gelernt hat.

Gedanken dieser Art haben nun wohl auch die Ziele des physikalischen Unterrichtes an unseren höheren Schulen geregelt. Die Hauptaufgabe dieses Gegenstandes hat der Herausgeber dieser Zeitschrift auf den einleitenden Seiten des ersten Jahrgangs in unübertrefflicher Weise dargelegt[1]). Es ist schwierig, diese Aufgabe in einem einzigen Satze eindeutig zu bezeichnen; vielleicht aber könnte es mit den Worten geschehen, daß dem physikalischen Unterricht die Rolle zukommt, den Schüler in das naturwissenschaftliche Denken und Forschen einzuführen. Dieses Ziel der formalen Geistesbildung, das vielleicht von keinem anderen Unterrichtsfache besser erreicht werden kann als von der Physik, muß für die Schule obenan stehen, weit höher stehen, als die Vermittlung von Tatsachenmaterial, besonders von solchem, das zur Stunde noch nicht völlig abgeschlossen, noch nicht völlig gesichert erscheint.

Wenn man diese Gesichtspunkte im Auge behält, so wird man — wie ich glaube — denn doch nicht zu jenem harten Urteile kommen, das Herr G.-R. Orlich auf der zweiten Seite seiner Abhandlung über den gegenwärtigen Betrieb des physikalischen Unterrichtes an unseren höheren Schulen, ganz besonders über die Behandlung der Lehre von der Elektrizität und vom Magnetismus und über die hier erzielten Lehrerfolge ausspricht. Wenn er dort sagt: „Es ist schlechterdings nicht mehr angängig, daß diejenigen, die auf Bildung Anspruch machen, von den elektrischen Vorgängen, deren technische Anwendungen uns im täglichen Leben auf Schritt und Tritt begegnen, so gut wie gar nichts wissen", so glaube ich, daß dieses Urteil vielleicht auf die Beobachtung einzelner bedauerlicher Fälle zurückzuführen sein dürfte, daß es dagegen auf die Gesamtheit des aus unseren höheren Schulen entlassenen Schülermaterials nicht zutreffen kann. Einen gewissen Einblick in das in der Schule Erreichbare geben uns doch auch die für diese Schulen abgefaßten Lehrbücher. Wenn ich nun diese Lehrbücher durchblättere (und ich glaube über eine ziemlich genaue und lückenlose Bekanntschaft mit dieser Literatur zu verfügen), so finde ich, daß jedes dieser Lehrbücher hinreichend viel — bisweilen sogar mehr als hinreichend viel — aus dem in Rede stehenden Gebiete enthält, so daß es mir unverständlich wäre, wie Schüler, die an der Hand dieser Lehrbücher ihren Unterricht genossen haben, von diesen Dingen so gut wie gar nichts wissen. Daß der Unterricht hier, wie überall, doch nur die leitenden Gedanken herausheben kann und sich nicht zu

[1]) Teilweise auch wiedergegeben in F Poske, Didaktik d. phys. Unterr. S. 2.

sehr in Einzelheiten verlieren, auch nicht allzuweit auf Gebiete übergreifen darf, die sich zur Zeit noch in der Entwicklung befinden[1]), das erscheint mir eher lobens- als tadelnswert. Und es steht auch auf anderen, ebenso wichtigen Gebieten der Physik nicht anders wie hier. Nur ein einziges Beispiel sei hier an Stelle vieler anderer angeführt. Begegnen uns nicht auch die Auswirkungen der Dampfmaschine, wie der Wärmekraftmotoren überhaupt, auf Schritt und Tritt im täglichen Leben? Und was kann die Schule darüber sagen? Sie muß sich auch hier wieder begnügen, die Grundgedanken an einem einzigen, noch dazu in der Gegenwart völlig verdrängten Maschinentypus zu zeigen, aus dem einfachen Grunde, weil dieser Typus eben der einfachste und am leichtesten überblickbare ist. Ähnlich steht es mit den Lokomotiven. Die einfachsten längst überholten Formen sind für den Anfangsunterricht die lehrreichsten. Und wenn Vertreter des Maschinenbaus darüber einen Tadel ausgesprochen haben, so haben sie sich doch[2]) bei näherem Zusehen überzeugen müssen, daß das Eingehen auf die modernen Formen der Dampfmaschine auf große, vielleicht unüberwindbare Schwierigkeiten stößt, wenn man nicht die vorher gekennzeichneten Grenzen weit überschreiten will.

Was nun im besonderen den Aufbau des Lehrganges in der Elektrizitätslehre betrifft, so ist dieser keineswegs als ein flüchtiger Notbau, der nur einem augenblicklichen Bedürfnisse dienen sollte, errichtet worden. Wer die vielen Jahrgänge dieser Zeitschrift durchsieht, kann sich überzeugen, daß an diesem Aufbau unsere hervorragendsten und erfahrensten Methodiker und Didaktiker mitgewirkt haben; und — was ich an dieser Stelle ganz besonders betonen möchte — alle diese Mitarbeiter konnten ihre Vorschläge auf jahrelange eigene Beobachtungen und Erfahrungen in der Schule stützen. Es würde viel zu weit führen, einen auch nur flüchtigen Überblick über den Werdegang dieser Arbeiten hier zu geben und auf die Begründung der einzelnen Schritte in dem seither allgemein üblich gewordenen Lehrgange einzugehen. Ich möchte nur bemerken, daß man zunächst auf der Unterstufe den Schwierigkeiten, die in dem Mangel eines „spezifisch elektrischen Sinnesorganes“ liegen[3]), gerade dadurch zu begegnen suchte, daß man an den Anfang dieses Kapitels die Grundversuche der statischen Elektrizität (Reibungselektrizität) stellte, die erfahrungsgemäß von den Schülern mit besonderem Interesse verfolgt werden, und deren Verlauf unter steter Mitarbeit der Lernenden ohne jede Schwierigkeit vonstatten geht. Auf Grund einfacher Beobachtungen lassen sich dabei zwanglos die Begriffe „elektrischer Zustand, elektrische Ladung, Ladungsmenge, Elektrizitätsgrad, Entladung usw.“ definieren. Und noch andere Vorteile ergeben sich. Es wird uns dadurch möglich, die einzige auffälligere Naturerscheinung, bei der hochgespannte Elektrizität eine Rolle spielt, das Gewitter, wenigstens insoweit zu erklären, als es auf dieser Stufe überhaupt möglich ist. Und endlich bietet uns gerade die Spannungselektrizität die Möglichkeit, den für die Folge wichtigsten und schwierigsten Begriff der elektrischen Strömung zu gewinnen[4]). Ohne das Kapitel der statischen Elektrizität erscheint es mir ganz unmöglich, den Schülern ein auch nur einigermaßen ausreichendes Verständnis für die weiteren, technisch sicherlich interessanteren und wertvolleren Kapitel der Elektrizitätslehre zu eröffnen. „Die Fundamente unseres Wissens von der strömenden Elektrizität liegen nun einmal auf dem Gebiet der Elektrostatik und wer nicht alles Sinnes für das Werden wissenschaftlicher Begriffe bar ist, wird den Schülern die Einsicht in das Werden auf dem interessantesten Gebiete der Physik nicht verkümmern wollen.“[5]) Ich würde übrigens allen denen, die anderer Ansicht sind, dringend empfehlen, sich einen modernen Lehrgang für das in Rede stehende Kapitel,

[1]) F. Poske, a. a. O., S. 392.
[2]) Nach einer Mitteilung des Herausgebers.
[3]) Vergl. J. Kießling, Didaktik und Methodik des Physik-Unterrichts, S. 59.
[4]) Vergl. meinen Aufsatz „Zur Strömung der Elektrizität in Halbleitern“, diese Zeitschr. 31, 173.
[5]) F. Poske, a. a. O., S. 180.

wie er heute an unseren höheren Schulen verwendet wird, etwas genauer anzusehen. Sie werden dann unzweifelhaft erkennen, daß dieser ganze Abschnitt, wenn er auch schon an nnd für sich ein ausgezeichneter Stoff für geistige Erziehung ist, doch ganz besonders als ein propädeutischer Unterricht für das Kapitel der Berührungselektrizität aufzufassen ist.

Daß in dem Rahmen dieses Kapitels die „elektrischen Spielereien" der älteren Experimentalphysik keine Bedeutung mehr behielten, ist selbstverständlich; wenn aber auch da und dort ein Lehrer einen oder den anderen dieser veralteten Apparate, da er eben vorhanden war, den Schülern zeigte, so war auch das kein Verstoß. Denn erfahrungsgemäß bringen die Schüler der historischen Entwicklung gerade physikalischer Stoffe besonderes Interesse entgegen; und es bedeuten die heute von uns belächelten sogenannten „Nebenapparate" der Elektrisiermaschine schließlich doch auch eine Etappe auf dem mühevollen Wege, der zurückzulegen war. Vollends können aber Versuche dieser Art, die uns im Kleinen dieselben Wirkungen zeigen, die der Blitz uns im Großen erblicken läßt, keineswegs als wertlos und überflüssig bezeichnet werden.

Auf der Oberstufe wird dies alles zunächst flüchtig wiederholt und erfährt dabei eine Erweiterung in der Verfolgung der energetischen Vorgänge an den Generatoren der Spannungselektizität (vor allem an der Influenzmaschine, die insofern ja sogar als ein Vorläufer der Dynamomaschine angesehen werden kann), ferner durch die Entwicklung der Grundbegriffe des elektrischen Potentials und der elektrischen Kapazität, durch die Gewinnung der absoluten und praktischen Einheiten des elektrostatischen Maßsystems und durch eine nähere Betrachtung der elektrischen Kondensatoren. Man kann durchaus nicht sagen, daß es wertlose Dinge sind, die dadurch gewonnen werden, oder daß die Schüler für diese Stoffe kein Interesse und Verständnis zeigen; die Erfahrung lehrt das Gegenteil.

Mit den so gewonnenen Hilfsmitteln ist es nunmehr möglich, das jetzt folgende Kapitel der strömenden Elektrizität (des Galvanismus), das ja unbestritten seiner Wichtigkeit halber den überragendsten Teil der ganzen Elektrizitätslehre bildet, auf bereits gewonnenen Tatsachen und Begriffen aufzubauen. Ich gebe ohne weiters zu, daß dieser Weg ein mühevoller ist; aber er sichert den Lehrer gegen den Vorwurf, daß er dem Schüler unvermittelt Gedankengänge aufzwingt, denen er nicht zu folgen vermag. Und insofern möchte ich gerade diesen Lehrgang wegen seines hohen Wertes für die geistige Erziehung des Schülers als eine besondere Errungenschaft moderner Didaktik bezeichnen. Da dieser Lehrgang sich ferner der Hauptsache nach an die geschichtliche Entwicklung des Gegenstandes anschließt, zeigt er dem Schüler auf einem überaus fesselnden und großen Gebiete die Gewinnung physikalischer Erkenntnisse und wird somit auch dem besonderen Bildungsziele des physikalischen Unterrichtes in hervorragender Weise gerecht.

Im Gegensatze dazu ist nun wiederholt der Vorschlag gemacht worden, mit völliger Weglassung des Kapitels der Spannungselektrizität „sogleich mit Versuchen am Starkstrom zu beginnen, wobei die Herkunft dieses Starkstromes zunächst im Dunkeln gelassen wird"[1]. Für Fachschulen, für die die rasche Erlangung fachlicher Kenntnisse die Hauptsache bildet, mag ja ein solcher Weg ganz praktisch sein, um so mehr als solche Anstalten Schüler aufnehmen, die bereits an einer anderen Schule einen mehr aufbauenden Unterricht in diesem Gegenstande genossen haben dürften. Einen ähnlichen Vorschlag, der wohl den Unterricht an höheren Anstalten im Auge haben mochte, hat E. Brunn (*diese Zeitschrift 14, 83*) gemacht; der Vorschlag fand durch P. Spies (*ebend. S. 86*) eine ablehnende Kritik. Noch umstürzender war ein Vorschlag von P. Kleinpeter (*diese Zeitschrift 24, 129*), der die Induktionserscheinungen, also das allerschwierigste Kapitel, als den Ausgangspunkt für die Elektrizitäts-

[1]) F. Poske, a. a. O., S. 348.

lehre empfahl. Sonderliche Zustimmung haben alle diese Vorschläge bisher nicht finden können, noch weniger haben sie meines Wissens zu einer praktischen Einführung in die Schule geführt. Da sie jedoch ganz unumwunden mit allem brechen, was Pädagogik und Didaktik bisher als oberste Richtschnur im Auge gehalten haben, ist das Verharren bei den erprobten Methoden leicht erklärlich.

Ein ähnlicher Vorschlag ist nun auch der jüngst von Herrn G.-R. Oblich entwickelte. Er liegt bisher nur in Form einer kurzen Skizze vor, deren Durcharbeitung in den Einzelheiten für die Zwecke der Schule — wie der Verfasser selbst zugibt — „noch manches Kopfzerbrechen machen wird". Man kann natürlich diesem Vorschlage erst nähertreten, wenn eine solche Durcharbeitung tatsächlich vorliegen wird. Ich für meine Person — das sage ich ganz offen und ehrlich — würde es nicht wagen, eine solche Durcharbeitung zu unternehmen. Ich kann natürlich der fachlichen Seite dieses Vorschlages, der ja sicherlich von der überragenden Warte einer hochentwickelten Wissenschaft aus das Gebiet überschaut und die Möglichkeit einer Urbarmachung dieses Gebietes von diesem Standpunkt aus beurteilt, nicht im entferntesten nahetreten. Der Vorschlag erweckt auch sicherlich mein lebhaftes Interesse und meine rückhaltslose Bewunderung. Aber ich glaube, daß die ohnedies schwierig zu gewinnenden Begriffe nach diesem Vorschlag von den Schülern weder leichter noch sicherer als bisher zu erfassen sein werden. Der hier vorgeschlagene Vorgang erscheint mir auch als ein rein dogmatischer; er wird also bei allen Anhängern der heute so besonders hoch eingeschätzten „Arbeitsschule" wenig Zustimmung finden. Ich meine dabei nicht, daß die von Herrn G.-R. Oblich vorgeschlagenen „drei Grundversuche" sich nicht in experimentelle Formen bringen lassen würden, die auf dem Wege einer Schülerarbeit im Laboratorium verwirklicht werden könnten. Ich vermisse aber die Möglichkeit, im Klassenunterrichte dabei dem alten und immer bewährten Unterrichtsgrundsatze gerecht zu werden, das Neue an Bekanntes anzuknüpfen und so die Materie mit den Schülern zu „erarbeiten". Und ich würde es somit bedauern, wenn gerade hier ein wertvolles Stück entwickelnden Unterrichtes preisgegeben würde. Denn nur wenige Kapitel der Physik gestatten eine so schöne Durchführung eines entwickelnden induktiven Lehrverfahrens wie gerade die Kapitel der Elektrostatik (und auch des Magnetismus). Ich habe in meinem eigenen Unterrichte und auch in Lehrstunden anderer Lehrer, denen beizuwohnen ich Gelegenheit hatte, gerade bei der Durcharbeitung dieser Lehrstoffe immer meine helle Freude an dem lebhaften und wertvollen Zusammenarbeiten von Schülern und Lehrer gehabt.

Ich möchte zum Schlusse die Bitte äußern, daß meine Ausführungen so verstanden werden mögen, wie sie gemeint sind. Es liegt mir ferne, allen Versuchen, auf dem Gebiete der Didaktik des physikalischen Unterrichtes Fortschritte zu erzielen, mit Mißbehagen und Voreingenommenheit entgegentreten zu wollen. Im Gegenteil! Ich begrüße es nur wärmstens, wenn man in der Schule mehr als anderswo sich fortgesetzt mit der Frage beschäftigt: wie kann man dieses oder jenes besser, wie kann man es nutzbringender gestalten? Ich bin also gewiß kein Feind von „Schulreformen" jeder Art. Aber als Richtschnur werden doch immer die vorher bezeichneten obersten Grundsätze dienen müssen.

Ein Apparat zur Ableitung der Stoßgesetze.

Von **Emil Schulze**, Altenburg.

An die Behandlung der Stoßbewegung treten die meisten Physiklehrer mit Unlust heran, hat doch zunächst der Mathematiker fast ausschließlich das Wort; erst nach Ableitung der Stoßformeln finden diese für einige einfache Fälle durch Versuche mit zwei pendelnden zusammenstoßenden Stahl- oder Bleikugeln Bestätigung. Viel fruchtbarer läßt sich der Unterricht gestalten, wenn statt der Pendelkugeln zwei auf Schienen rollende Wägelchen, wie sie in nebenstehender Figur abgebildet sind, zum Zusammenstoß gebracht werden. Abgesehen davon, daß die Schüler dem Zusammenstoß zweier Wagen, die zwei Eisenbahnzüge repräsentieren, von vornherein ein größeres Interesse entgegenbringen, läßt sich das Experiment nicht nur zur Bestätigung sondern auch schon zur Ableitung der Stoßformeln heranziehen.

Aus der Figur ersieht man, daß durch den Vorderwagen A eine lange, leicht bewegliche Stange hindurchgeht, auf die hinten eine Stahlspirale aufgeschoben ist.

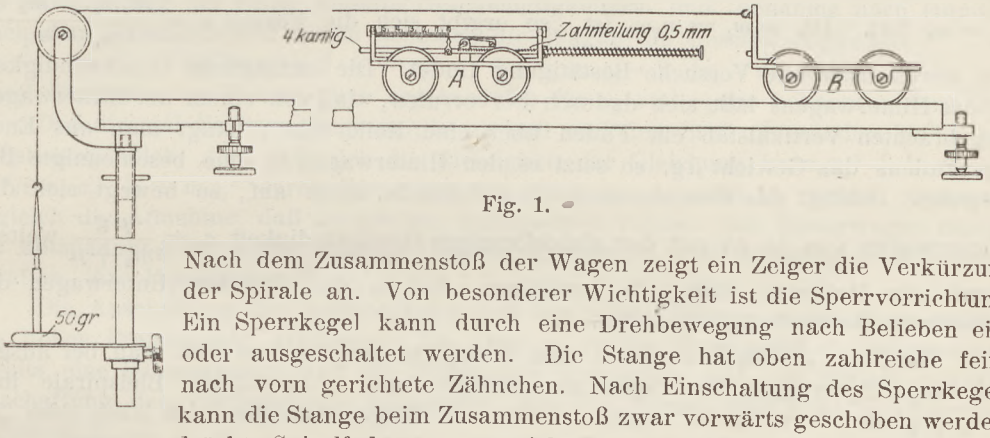

Fig. 1.

Nach dem Zusammenstoß der Wagen zeigt ein Zeiger die Verkürzung der Spirale an. Von besonderer Wichtigkeit ist die Sperrvorrichtung. Ein Sperrkegel kann durch eine Drehbewegung nach Belieben ein- oder ausgeschaltet werden. Die Stange hat oben zahlreiche feine nach vorn gerichtete Zähnchen. Nach Einschaltung des Sperrkegels kann die Stange beim Zusammenstoß zwar vorwärts geschoben werden, die zusammengedrückte Spiralfeder vermag sich aber nach dem Zusammenstoß nicht wieder auszudehnen, weil die Spitze des Sperrkegels, die zwischen zwei Zähnchen eingreift, die Stange an der Rückwärtsbewegung hindert. Auf diese Weise kann durch Ein- oder Ausschaltung des Sperrkegels sowohl der unelastische wie der elastische Stoß durch dieselben zwei Wägelchen A und B zur Darstellung gebracht werden. Unbeladen haben beide Wagen dieselbe Masse; durch Belastung des einen oder des andern Wagens ist man in der Lage, die zusammenstoßenden Massen nach Belieben abzuändern. Die Stoßzeit ist nicht wie beim Zusammenprall zweier Pendelkugeln äußerst klein, sondern die Schüler können die Verkürzung und Ausdehnung der Spirale und die entsprechende Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des Zeigers deutlich verfolgen. In welcher Weise der Apparat zur Ableitung der Stoßformeln heranzuziehen ist und Experiment und Theorie sich gegenseitig unterstützen können, sei hier ausführlich auseinandergesetzt.

1. Der unelastische Stoß. Schaltet man den Sperrkegel ein und läßt den Hinterwagen B auf den in derselben Richtung sich bewegenden Vorderwagen A aufstoßen, so bewegen sich nach dem Stoß beide Wagen mit gleicher Geschwindigkeit u weiter, die größer als die Geschwindigkeit c_1 des Vorderwagens und kleiner als die Geschwindigkeit c_2 des Hinterwagens ist. Das kommt daher, daß der Hinterwagen einen Teil seiner Energie so lange an den Vorderwagen abgibt, bis beide Wagen gleiche Geschwindigkeit haben. Ein anderer Teil seiner Energie ist zum Zusammendrücken der Feder verwendet und in der gespannten Spirale aufgespeichert worden. Eine selbstverständliche Folge hiervon ist, daß die Summe der Energien der bewegten Wagen vor dem Stoße größer ist als nach dem Stoße. Die in der Spirale

aufgespeicherte Energie läßt sich wieder in Bewegungsenergie verwandeln, wenn bei zur Ruhe gebrachten und mit ihren Puffern sich berührenden Wagen der Sperrkegel ausgeschaltet wird. Die Wagen bewegen sich dann infolge der Entspannung der Feder mit den Geschwindigkeiten ω_1 und ω_2 nach entgegengesetzten Richtungen, und zwar sind diese Geschwindigkeiten, wie mittelst eines Metronoms festgestellt werden kann, umgekehrt proportional den Massen der Wagen. Theoretisch läßt sich das begründen durch die Annahme, daß die Elastizitätskraft k der sich ausdehnenden Spirale zweiseitig wirkt, es ist $k = m_1 b_1 = m_2 b_2$. Da nach der Entspannungszeit τ die Geschwindigkeiten $\omega_1 = b_1 \tau$ u. $\omega_2 = b_2 t$ sind, so folgt $m_1 \omega_1 = m_2 \omega_2$. Letzterer Versuch ist im wesentlichen derselbe wie der Grimsehlsche, wo aus einer Kanone durch Entzünden von Pulver zwei Geschosse nach entgegengesetzten Richtungen abgeschossen werden.

Auch wenn die Wagen vor dem Zusammenstoß die Geschwindigkeiten c_1 und c_2 haben, werden nach dem Zusammendrücken der Feder die Geschwindigkeiten ω_1 und ω_2 erzeugt, so daß nach dem Stoß die neue Geschwindigkeit u den Wert $u = c_1 + \omega_1 = c_2 - \omega_2$ hat. Da $m_1\omega_1 = m_2\omega_2$ ist, so ergibt sich die Formel $u = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2}{m_1 + m_2}$, die durch messende Versuche Bestätigung findet. Die anfängliche Geschwindigkeit c_2 des Hinterwagens läßt sich dadurch hervorrufen, daß von einem am Hinterwagen angebrachten Vertikalstab ein Faden über eine Rolle führt; hängt man ans Ende des Fadens das Gewicht μg, so setzt es den Hinterwagen in eine beschleunigte Bewegung. Schlägt das Gewicht nach einer Sekunde unten auf, so bewegt sich der Hinterwagen von da an mit der gleichförmigen Geschwindigkeit $c_2 = \frac{\mu g}{m_2 + \mu}$ weiter; durch ein Metronom läßt sich bestätigen, daß in der Tat der Hinterwagen die errechnete Geschwindigkeit c_2 hat.

Wird die Stahlspirale durch eine Bleispirale ersetzt und läßt man bei ausgeschaltetem Sperrkegel die Wagen zusammenprallen, so nimmt die Bleispirale ihre ursprüngliche Form nicht wieder an und die Wagen bewegen sich nach dem Zusammenprall mit (annähernd) gleicher Geschwindigkeit weiter. Auch diesmal ist ihre Energie $^1/_2 (m_1 + m_2) \cdot u^2$ nach dem Stoß geringer als ihre Energie $^1/_2 m_1 c_1^2 + ^1/_2 m_2 c_2^2$ vor dem Stoß, doch ist auch hier der Energieverlust nur ein scheinbarer, indem die verlorene Energie unter Bildung von Wärme zur Formänderung der Bleispirale verbraucht worden ist.

2. Der elastische Stoß. Hindert man den ruhenden Vorderwagen durch einen vorgelegten schweren Klotz an der Bewegung und setzt den Hinterwagen durch das Gewicht μg mittelst des über die Rolle gelegten Fadens in Bewegung, so gelangt er bei eingeschaltetem Sperrkegel zur Ruhe, indem die Arbeit $\mu g \cdot h$ des Gewichts ausschließlich zum Zusammendrücken der Stahlspirale verwendet worden ist. Wiederholt man den Versuch bei ausgeschaltetem Sperrkegel, bis das Gewicht wieder aus der Höhe h auf die Platte aufschlägt, so findet eine mehrfache Umwandlung von Energie statt. Durch die Arbeit $\mu g \cdot h$ ist die Bewegungsenergie $^1/_2 m_2 c_2^2$ des Hinterwagens erzeugt worden; durch sie wird die Feder gespannt, darauf wird diese entspannt und der Hinterwagen nach rückwärts in Bewegung gesetzt, wodurch das Gewicht schließlich wieder (annähernd) bis zur Höhe h hinaufgezogen wird. Für das Verständnis besonders wichtig ist der experimentelle Nachweis, daß die Stahlspirale sowohl beim eingeschalteten wie beim ausgeschalteten Sperrkegel durch den Stoß gleich stark zusammengedrückt wird. Einigermaßen läßt sich das schon feststellen, indem man die Bewegung des Zeigers mit den Augen verfolgt; ist z. B. dieser bei eingeschaltetem Sperrkegel bei dem Teilstrich 3,5 stehen geblieben, so beobachtet man auch bei ausgeschaltetem Sperrkegel die Bewegung des Zeigers bis ungefähr zu diesem Teilstrich. Um das genau festzustellen, stecke man in ein unterhalb der

Teilstriche befestigtes horizontales Röhrchen (das in der Zeichnung weggelassen ist) ein leichtes Stäbchen, das am Ende eine Platte hat und stelle dies so ein, daß das Plättchen auf Teilstrich 3 steht. Wiederholt man jetzt den Versuch bei ausgeschaltetem Sperrkegel, indem man den Hinterwagen mit genau derselben Geschwindigkeit wie vorher bei eingeschaltetem Sperrkegel aufprallen läßt, so schiebt der Zeiger das Plättchen bis Teilstrich 3,5 vor sich her.

Auch wenn man den Vorderwagen durch Entfernung des Klotzes sich bewegen läßt, lehrt die Beobachtung, daß bei ausgeschaltetem Sperrkegel der Zeiger ebenso weit vorrückt wie bei eingeschaltetem. Hiernach ist klar, daß beim elastischen Stoß die Zeit des Zusammenprallens deutlich in zwei Abschnitte zerfällt, und zwar wird im ersten Abschnitt die Feder genau so stark zusammengedrückt wie beim unelastischen Stoß; der Vorderwagen erfährt die Geschwindigkeitszunahme $\omega_1 = u - c_1$, der Hinterwagen die Geschwindigkeitsabnahme $\omega_2 = c_2 - u$, wo u den Wert $u = \frac{m_1 c_1 + m_2 c_2}{m_1 + m_2}$ hat. Im zweiten Abschnitt erfahren Vorder- und Hinterwagen durch die Entspannung der Feder dieselbe Geschwindigkeitszu- und -abnahme noch einmal. Nach dem Zusammenstoß haben demnach die Wagen die Geschwindigkeiten

$$v_1 = c_1 + 2 \cdot (u - c_1) \qquad v_2 = c_2 - 2 \cdot (c_2 - u).$$

Durch Einsetzen des Wertes für u ergeben sich für v_1 und v_2 die bekannten Formeln.

Daß diesmal die Bewegungsenergie vor und nach dem Stoß unverändert bleibt, ist selbstverständlich, doch läßt sich die Richtigkeit der Gleichung $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 c_1^2 + \frac{1}{2} m c_2^2$ durch Einsetzen der Wert von v_1 und v_2 dartun, wodurch zugleich die Annahme, daß im zweiten Zeitabschnitt Vorder- und Hinterwagen durch die Entspannung der Feder dieselbe Geschwindigkeitszu- und -abnahme noch einmal erhalten, ihre Bestätigung findet.

Die Anschaffung der Schienenbahn und der beiden Wägelchen ist heute wegen des hohen Preises sehr erschwert. Da aber in vielen physikalischen Sammlungen bereits eine Schienenbahn und ein Wägelchen vorhanden sind, ist für sie nur die Anschaffung des Vorderwagens notwendig, den die Firma Max Kohl in Chemnitz liefern will.

Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß der Vorderwagen außer zur Behandlung der Stoßgesetze sich noch für manche andere Zwecke benutzen läßt. Erwähnt ist schon, daß der Grimsehlsche Versuch mit der geladenen Kanone ersetzt werden kann durch den Versuch, die beiden Wagen durch plötzliche Ausschaltung des Sperrkegels auseinander treiben zu lassen, ein hübsches Beispiel für den Rückstoß der Geschütze. Ein anderes Beispiel ist: Man stelle den Vorderwagen nach Einschaltung des Sperrkegels ans Ende der Schienenbahn, lege einen schweren Klotz davor, so daß der Vorderwagen an der Bewegung gehindert wird, gebe dem anderen Ende der Schienenbahn eine erhöhte Lage und lasse den Hinterwagen die schiefe Ebene hinunterrollen. Beim Aufprallen auf den Vorderwagen wird die Feder zusammengedrückt und der Zeiger bis zu einem bestimmten Teilstrich vorgeschoben. Richtet man die schiefe Ebene steiler auf und läßt den Hinterwagen aus derselben Höhe wie vorhin herunterrollen, so wird auch jetzt der Zeiger bis zu demselben Teilstrich vorgeschoben, der Hinterwagen ist also in beiden Fällen mit derselben Wucht und daher mit derselben Geschwindigkeit unten angekommen.

Mit dem beschriebenen Apparat habe ich seiner Zeit nur erst Vorversuche anstellen können, und bin an deren Weiterführung durch meine Erkrankung und daran sich anschließenden Austritt aus dem Schuldienst gehindert worden. Einer Aufforderung des Herausgebers entsprechend teile ich jedoch nachstehend die Ergebnisse meiner Vorversuche mit.

Für den unelastischen Stoß gilt in dem besonders einfachen Fall $c_1 = 0$, d. h. wenn der Vorderwagen vor dem Zusammenprall in Ruhe ist, $u = \frac{m_2}{m_1 + m_2} c_2$. Wählt man $c_2 = 24$ cm/sec., so ergibt die Rechnung für $m_1 = m_2$ den Wert $u = \frac{1}{2} c_2 = 12$ cm/sec. Für $m_1 = 2m_2$ ist $u = \frac{1}{3} c_2 =$

8 cm/sec. und für $m_2 = 2m_1$ ist $u = \frac{2}{3} c_2 = 16$ cm/sec. Beide Wagen haben unbeladen die Masse 480 g. Bevor ich die Versuche anstellte, kompensierte ich die Reibung durch schwaches Neigen der Bahn; das war erreicht, als jeder der Wagen nach Anstoß sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf der Schienenbahn bewegte. Hierauf setzte ich den unbeladenen Hinterwagen durch ein Gewicht von 12 g*, dem in Berücksichtigung des Trägheitsmomentes der Rolle ein kleines Übergewicht zugefügt war und das in einer Höhe von etwas mehr als 12 cm über der Platte schwebte, in Bewegung. Nachdem ich durch Abänderung des Übergewichts und der Fallhöhe erreicht hatte, daß das Zuggewicht nach einer Sekunde auf der Platte aufschlug und der Hinterwagen von da an mit der gleichförmigen Geschwindigkeit von 24 cm/sec. sich bewegte, setzte ich den unbeladenen Vorderwagen in solchem Abstand vom Hinterwagen auf die Schienenbahn, daß letzterer nach dem Aufschlagen des Zuggewichtes auf die Platte auf den Vorderwagen stieß. Beide Wagen bewegten sich dann mit gleicher Geschwindigkeit weiter. Mittels des Metronoms stellte ich die gemeinsame Geschwindigkeit annähernd gleich 12 cm/sec. fest. Hierauf verdoppelte ich durch Aufladen von Gewichten die Masse des Vorderwagens, wiederholte den Versuch und erhielt nach dem Zusammenstoß die gemeinsame Geschwindigkeit von annähernd 8 cm/sec. Verdoppelte ich endlich die Masse des Hinterwagens durch Auflegen von Gewichten, so mußte ich zuvor Zuggewicht und Fallhöhe verdoppeln, um nach 1 Sekunde die Geschwindigkeit $c_2 = 24$ cm/sec. des Hinterwagens zu erzielen. Nach dem Zusammenprall nahmen beide Wagen die Geschwindigkeit von annähernd 16 cm/sec. an.

Als Beispiel zur Bestätigung der Formeln für den elastischen Stoß wählte ich ebenfalls den einfachen Fall $c_1 = 0$; dann war $u = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot c_2$, $v_1 = 2u$, $v_2 = 2u - c_2$. Für $c_2 = 24$ cm/sec. und $m_2 = 2m_1 = 960$ g ergibt die Rechnung $v_1 = 32$ cm/sec., $v_2 = 8$ cm/sec. Der Versuch ergab kleinere Zahlenwerte. Das liegt jedenfalls daran, daß die Stahlspirale nicht vollkommen elastisch ist, zum Teil auch an der Trägheit und der gleitenden Reibung der Stange, wodurch Energie verbraucht wird.

Zur experimentellen Behandlung des Luftwiderstandes mit Bezug auf die Flugzeugtechnik.

Von Dr. **H. Hayungs** in Hamburg.

Die Einwirkung der Luft auf bewegte Körper wird im Physikunterricht wie in den Lehrbüchern wohl durchweg nur oberflächlich behandelt. M. E. sehr mit Unrecht. Denn das Studium dieses Erscheinungsgebiets ist sehr lehrreich und reizvoll, dazu führt es unmittelbar an das Verständnis einer Reihe von technischen Dingen heran, die jedem Schüler einmal begegnet sind, ein Interesse weckendes Moment von größter Bedeutung. Allerdings scheint einer eingehenderen Würdigung der Erscheinungen des Luftwiderstandes der Mangel an geeigneten Versuchen entgegenzustehen. Die für dieses Gebiet angegebenen Versuche sind unzulänglich oder nicht schulmäßig. Aber diesem Mangel wird abzuhelfen sein, wenn man ernstlich sucht. Ein erster Schritt vorwärts dürften die im folgenden beschriebenen Versuche sein, die ich meinem Unterricht zugrunde gelegt habe.

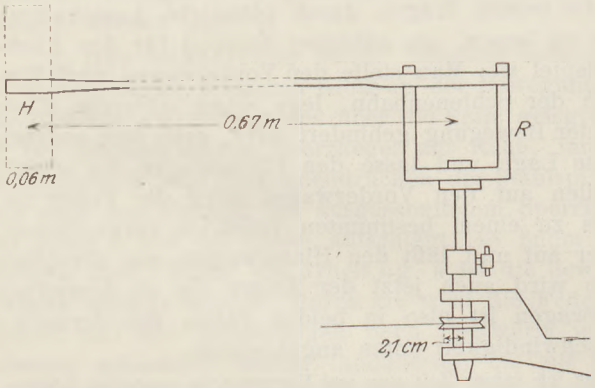

Fig. 1.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 1 ersichtlich. Ein aus drei Brettstücken gefügter Rahmen R ist mit dem im Mittelpunkt durchbohrten Grundbrett auf die Schwungmaschine aufgeschraubt. Die beiden Seitenbretter sind nahe der oberen Kante in gleicher Höhe durchbohrt. Durch diese Bohrungen ist ein ca. 80 cm langer Holzstab geführt, der außerhalb des Rahmens bis auf ein etwa 6 cm langes Stück am Ende abgeflacht ist, so daß der auf ihn wirkende Luftwiderstand unmerklich klein ist. Am freien Ende des Stabes wird der Körper befestigt, der bezüglich des Luft-

widerstandes untersucht werden soll. Zunächst wird ein Papprechteck von 6 cm Breite und 24 cm Höhe benutzt, das mit Heftzwecken an das breite Ende des Stabes angesteckt wird. Der Grund für die Wahl dieser Abmessungen des Rechtecks wird später klar werden. Der Riemen der Schwungmaschine ist abgenommen, und um den Schnurkranz ist ein dünner Bindfaden gewickelt, dessen Ende in einem durch den Rand des Schnurkranzes gebohrten Loch verknotet ist. Das freie Ende des Fadens ist über eine Rolle geführt und trägt eine Schale mit Gewichten, die mindestens 1 m Fallraum hat. Die Rolle wird durch ein auf dem Fußboden stehendes Stativ gehalten.

Man ermittelt nun zunächst die Reibung des Apparates, indem man die Schale so stark belastet, daß das Gewicht den Apparat nach einem Anstoß in langsamer gleichmäßiger Bewegung hält. Der Pappstreifen ist hierbei natürlich noch nicht angesteckt. Die Reibung hatte die Größe 75 g. — Hierauf wird der Pappstreifen angeheftet und bei Zusatzbelastungen von 250—1000 g mit der Stoppuhr festgestellt, daß in allen Fällen nach höchstens zwei Umdrehungen die Drehung des Apparats völlig gleichförmig ist. Das die Rolle tragende Stativ benutzt man dabei als Marke. Jetzt bestimmt man mit der Stoppuhr die Zeitdauer für 3 Umdrehungen. Wir erhielten als Mittelwerte aus sehr wenig voneinander abweichenden Einzelwerten 5,4 Sek. (250 g Zusatzbelastung), 3,8 Sek. (500 g), 3,2 Sek. (750 g), 2,8 Sek. (1000 g). Daraus folgt ohne weiteres, daß der Luftwiderstand dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Denn die Geschwindigkeitsquadrate verhalten sich in den vier Fällen wie $\frac{1}{5{,}4^2} : \frac{1}{3{,}8^2} : \frac{1}{3{,}2^2} : \frac{1}{2{,}8^2} = 0{,}034 : 0{,}069 : 0{,}098 : 0{,}13 \sim 1 : 2 : 3 : 4$. Das ist aber auch das Verhältnis der Werte des Luftwiderstandes, der, da die Bewegung des Apparates gleichförmig ist, in jedem Fall der Zusatzbelastung der Schale proportional ist.

Außer von der Geschwindigkeit ist der Luftwiderstand offenbar von der Fläche des bewegten Körpers abhängig. Um das Gesetz dieser Abhängigkeit zu finden, ersetzt man die Pappe durch andere derselben Breite aber geringerer Höhe. Wir nahmen Papprechtecke in den Abmessungen 6×18 cm², 6×12 cm² und 6×6 cm². Bei der Fläche 6×18 cm² und 375 g Belastung, bei der Fläche 6×12 cm² und 250 g Belastung, erhält man genau dieselbe Geschwindigkeit, wie bei der Fläche 6×24 cm² bei 500 g Belastung. Bei dem Quadrat 6×6 cm² beobachteten wir bei entsprechender Belastung (125 g) 3,6 Sek. statt 3,8 Sek. Der Luftwiderstand ist also der Fläche des bewegten Körpers proportional. Nur das Quadrat scheint aus dieser Gesetzmäßigkeit etwas herauszufallen. Darauf haben wir noch zurückzukommen. Davon abgesehen gilt für den Luftwiderstand die Beziehung $w = k \cdot F \cdot v^2$, wo F die bewegte Fläche ist, v ihre Geschwindigkeit. Zur Bestimmung von k hat man die erhaltenen Werte von w. F und v einzusetzen.

Es ergibt sich da allerdings zunächst die Schwierigkeit, daß bei unserer Versuchsanordnung die Geschwindigkeit der verschieden weit von der Drehungsachse entfernten Flächenelemente des Pappstreifens verschieden groß ist. Es ist also, wenn h die Länge des Streifens ist, $w = k\,h\,\frac{4\pi^2}{t^2}\int_{-0{,}03}^{+0{,}03}(0{,}67 + x)^2\,dx$, da der Pappstreifen 0,06 m breit ist und sein Mittelpunkt vom Mittelpunkt der Drehung 0,67 m entfernt war. Führt man die Integration aus, so erhält man $w = k\,h\,\frac{4\pi^2}{t^2}\left[\frac{(0{,}67 + x)^3}{3}\right]_{-,003}^{+0.03}$ $= k \cdot F \cdot \frac{4\pi^2 \cdot 0{,}67^2}{t^2} + k \cdot F \cdot \frac{0{,}0009}{3} \cdot \frac{4\pi^2}{t^2}$ $(F = 0{,}06 \cdot h) \cdot \frac{4\pi^2 \cdot 0{,}67^2}{t^2}$ ist aber die Geschwindigkeit des Mittelpunktes des Rechtecks, das zweite Glied ist neben dem ersten zu vernachlässigen, da es kleiner ist als $^1/_{1000}$ des Wertes des ersten Gliedes. Also ist $w = k \cdot F \cdot v_m^2$, d. h. wir dürfen die Bewegung des Pappstreifens als eine translatorische mit der Geschwindigkeit des Mittelpunktes ansehen. Dementsprechend nehmen wir für die Berechnung von w an, daß der Druckmittelpunkt des Luftwiderstandes

mit dem Mittelpunkt des Rechtecks zusammenfällt. Wir machen dabei einen Fehler, der etwa 4% betrüge, wenn der Druckmittelpunkt am äußersten Rand des Streifens läge, in Wirklichkeit also sicher erheblich unter 4% bleibt. — Setzen wir nun für die Berechnung von k die Zahlenwerte des zweiten Versuches der ersten Versuchsreihe ein: 0,500 kg Belastung, 3,8 Sek. Umlaufzeit für 3 Umläufe, indem wir hinzufügen, daß die Kraft 0,500 kg an dem Hebelarm 0,021 m angreift, so erhalten wir $k = 0{,}099$ (Einheiten m und kg). Für die anderen Fälle ergeben sich unerheblich abweichende Werte. Grimsehl gibt in seinem Lehrbuch (Bd. I. 3. Aufl. S. 326) für k bei Rechtecken mit dem Seitenverhältnis 1 : 4 $0{,}94 \cdot \frac{d}{g}$ an, wo d die Luftdichte, bezogen auf die Dichte 1 im Normalzustand, bedeutet, g die Gravitationsbeschleunigung in m. Für $t = 15°$ und 766 mm Druck ergibt sich $k = 0{,}091$. Wie dieser Wert bestimmt wurde, gibt Grimsehl nicht an.

Die oben erwähnte Beobachtung für das Quadrat scheint darauf hinzudeuten, daß das Quadrat einen geringeren spezifischen Widerstand besitzt als das Rechteck. Dieser Beobachtung genauer nachzugehen, besonders auch die Untersuchung auf andere ebene Flächen wie Kreis, Dreieck auszudehnen, war uns bei unserer Versuchsanordnung nicht möglich. Wir erweiterten die Untersuchung in einer anderen Richtung. Wir versahen ein Papprechteck von 122^2 cm Fläche mit einem pyramidenförmigen Aufbau, indem wir in der Mitte des Rechtecks einen durchbohrten Kork befestigten, in diesen lotrecht zur Rechteckfläche ein etwa 12 cm langes Glasrohr steckten, das am anderen Ende einen zugespitzten Kork trug, über diese Spitze Fäden nach den Ecken des Pappstreifens zogen und das Ganze mit Papier beklebten. Während die Pappfläche ohne Aufbau bei 0,5 kg Belastung 3 Umläufe in 3,5 Sek. vollendete, brauchte sie mit Aufbau, Spitze vorn, für 3 Umläufe 2,8 Sek. Die Geschwindigkeitsquadrate bei gleichem Luftwiderstand verhalten sich also wie 7,8 : 12,25, d. h. die Faktoren k wie 12,25 : 7,8. Da k für die ebene Fläche $\sim 0{,}1$ ist, erhalten wir für die Pyramide $k_1 = 0{,}064$. Das bedeutet aber, wir haben bei der Pyramide gegenüber der ebenen Fläche bei gleicher Geschwindigkeit eine Kraftersparnis von 36%. Läßt man die Pyramide in umgekehrter Richtung umlaufen, so daß die Spitze nach hinten zeigt, so erhält man genau dieselbe Umlaufzeit wie bei der Fläche ohne Aufbau, also keine Kraftersparnis. Auch wenn man an die erste Pyramide eine zweite gleicher Bauart anfügt, so daß man eine Doppelpyramide erhält, deren Spitzen nach vorn und hinten gerichtet sind, erhält man gegenüber der einfachen Pyramide keine weitere Kraftersparnis.

Zur Klärung dieses unerwarteten Ergebnisses bauten wir einen torpedoartigen Körper. Zwei Pappstreifen 10×28 cm wurden mit ihren Schmalseiten zusammengeklebt und, nachdem die Schmalseiten spitz zugeschnitten, wie Figur 2 zeigt, über ein Brettchen $10 \times 12{,}5$ cm² gespannt, das vorher am Ende des rotierenden Stabes befestigt war. Darauf wurden die Außenseiten mit leichtem Papier bespannt, so daß ein allseitig geschlossener Körper entstand. Während nun das Brettchen für sich bei 1 kg Belastung für 3 Umläufe 2,8 Sek. brauchte, erzielten wir bei dem Torpedo dieselbe Geschwindigkeit schon mit 0,4 kg Belastung. Das bedeutet eine Kraftersparnis von 60%. Schnitten wir nun den hinteren Teil des Torpedos ab, so mußten wir, um die frühere Geschwindigkeit zu erhalten, mit 0,6 kg belasten. Der „Sog“ betrug also 0,2 kg, d. i. die Hälfte des Druckes auf die Vorderseite, wenn wir, was allerdings nicht streng richtig ist, annehmen, daß der Luftwiderstand beim Torpedo nur an der Vorderfläche angreift. Halten wir dieses Ergebnis mit der Beobachtung an der Doppelpyramide zusammen, so ergibt sich, daß der Sog am äußersten Rande der Rückseite des bewegten Körpers angreift. Bei der Doppelpyramide, die nach vorn und hinten von der Grundfläche unter einem spitzen Winkel abfällt, kann der Sog an der Rückseite der Grundfläche gerade so angreifen, als wenn die Hinterpyramide

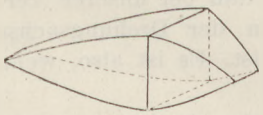

Fig. 2.

garnicht vorhanden wäre. Bei dem Torpedo fehlt diese Angriffsmöglichkeit, da dieser vom größten Querschnitt aus nach beiden Seiten ganz allmählich abfällt. —

Eine wertvolle Ergänzung finden diese Beobachtungen durch das Studium der Strömungsbilder eines Gasstromes. Diese kann man nach der Schlierenmethode sichtbar machen, wenn man aus einem etwa 2 cm weiten Glasrohr von oben einen Kohlendioxydstrom auf verschieden gestaltete Körper fallen läßt, deren Querschnitt kleiner ist als der des Gasstromes. Wir nahmen einen flachen, einen gewölbten und einen eiförmigen Knopf, die mit einer Nadel gehalten wurden. Die Strömungslinien waren deutlich zu sehen, auch die Wirbelbewegungen auf der Rückseite, soweit sie auftraten, waren unverkennbar. Bei der flachen Scheibe biegen die Strömungslinien bei dem Auftreffen sehr stark von der Fortpflanzungsrichtung des Gasstrahles ab. Wirbel wurden nicht beobachtet (Figur 3 a). Ganz anders ist das Bild bei dem gewölbten Körper. Die Strömungslinien biegen nur wenig ab und schließen sich bald wieder zusammen. Auf der Rückseite sieht man deutliche Wirbel (Figur 3 b). Bei dem dritten Körper endlich schließen sich die Strömungslinien ohne Wirbelbildung eng an den Körper an (Figur 3 c). Hält man schließlich die Scheibe nicht senkrecht zur Strömungsrichtung des Gases, sondern unter einem spitzen Winkel, so sieht man das Bild 3 d. Besonders deutlich sind hier die Wirbel hinter der dem Gasstrom entgegengehobenen Kante; diese Beobachtung ist wichtig für die Deutung der anschließend beschriebenen Erscheinungen.

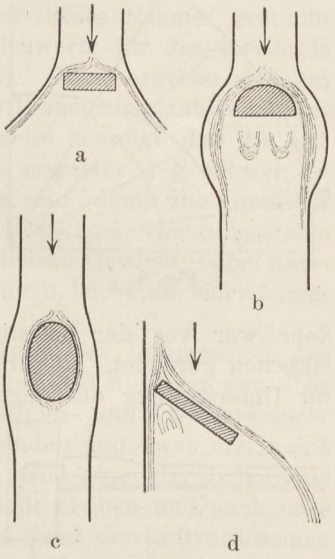

Fig. 3.

Wegen der Anwendung in der Flugzeugtechnik ist von besonderem Interesse die Wirkung des Luftwiderstandes auf eine ebene Fläche, die zur Bewegungsrichtung geneigt ist. Würde man hier, wie es ja nahe liegt, die Bewegung der Luft relativ zur Vorderfläche in zwei Komponenten zerlegen, die eine senkrecht und die andere parallel zur Fläche, so müßte der Normaldruck auf die geneigte Fläche $N_\alpha = N_{90} \cdot \sin^2 \alpha$ sein, wo N_{90} der Druck auf eine senkrecht zur Bewegungsrichtung stehende Fläche gleicher Größe und α der Winkel ist, den unsere Fläche mit der Bewegungsrichtung bildet. Der Rücktrieb der Platte wäre dann $R = N_\alpha \cdot \sin \alpha = N_{90} \cdot \sin^3 \alpha$, der Auftrieb $A = N_\alpha \cos \alpha = N_{90} \sin^2 \alpha \cos \alpha$. Den Rücktrieb können wir mit unserem Apparat genau messen. Wir müssen dazu den bisher benutzten abgeflachten Stab ersetzen durch einen auf geringe Dicke gleichmäßig rund abgeraspelten gleicher Länge. Auch empfiehlt es sich die bewegte Fläche breiter als bisher und weniger hoch zu wählen. Wir nahmen u. a. ein Rechteck $10 \times 12^1/_2$ cm². Stellten wir das Rechteck senkrecht zur Bewegungsrichtung, so war bei 1 kg Belastung die Zeit für 3 Umläufe 2,8 Sek. Neigten wir nun durch Drehung des Stabes in seinen Lagern die Platte, so daß sie mit der Bewegungsrichtung den Winkel 60^0 bildete, so mußten wir mit 750 g belasten, um dieselbe Geschwindigkeit zu erzielen, d. h. N_α ist nicht $= N_{90} \sin^3 \alpha$ sondern $= N_{90} \cdot \sin^2 \alpha$. Für $\alpha = 45^0$ und $\alpha = 30^0$ bestätigte sich diese Beziehung. Dementsprechend ist der Auftrieb, den die Platte erfährt, $A = N_{90} \cdot \sin \alpha \cos \alpha$. Für die Nachprüfung dieser Beziehung war die Kenntnis der Lage des Druckmittelpunktes erforderlich. Wir gewannen sie auf folgende Weise. Auf eine Pappplatte $8{,}6 \times 15{,}8$ cm² klebten wir von der Mitte aus längs der halben größeren Mittelparallelen einen mit einer Reihe von engen Querbohrungen versehenen Korkstreifen. So konnten wir die Platte drehbar an unserem rotierenden Stabe befestigen, indem wir den Kork über einen in die Endfläche des rotierenden Stabes in Verlängerung der Stabachse eingesetzten dicken Draht schoben (Stricknadel). Dabei war die Weite der Bohrungen so bemessen, daß die Pappe in jeder Lage, in die man sie brachte, gerade stehen

blieb. Setzten wir nun die Schwungmaschine in Bewegung (mit der Hand), so drehte sich die zunächst lotrecht gestellte Pappe in eine bestimmte mit der Lage der Drehachse veränderliche Neigung zur Bewegungsrichtung, eben die Neigung, für welche der Druckmittelpunkt in die Drehachse fällt. Zur Kontrolle stellten wir in jedem Fall die Platte zu Beginn nicht lotrecht, sondern nahezu wagerecht. Das Ergebnis unserer Untersuchung ist in Figur 4 dargestellt. — Hierauf gingen wir zur Bestimmung des Auftriebs über und zwar bestimmten wir nicht den Auftrieb direkt, sondern den ihm gleichen, bei entsprechender Neigung der Platte nach unten auftretenden Abtrieb. Unser Apparat mußte dazu noch etwas verändert werden (s. Figur 5).

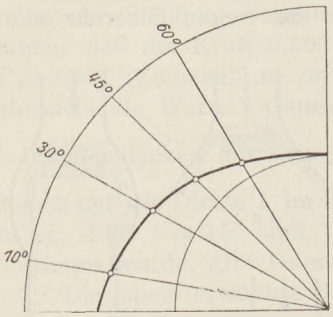

Fig. 4.

An der Unterseite des rotierenden Stabes befestigten wir einen zu einer dünnen Leiste — 2 mm — abgeflachten Rohrstock, so daß er etwa 8 cm über das freie Stabende hinausragte. Das überragende Stück Rohr war vor der Befestigung zu einem dünnen, allmählich dicker werdenden Stäbchen gerundet. Hierüber schoben wir nach Erweiterung der Bohrlöcher die oben zur Untersuchung der Lage des Druckmittelpunktes benutzte Pappe in der dem betreffenden Bohrloch als Druckmittelpunkt entsprechenden Neigung (Vorderkante tiefer als Hinterkante). Um die bei Drehung des Apparats erfolgende Senkung der Pappe messen zu können, zogen wir einen im Druckmittelpunkt der Pappe befestigten starken Baumwollfaden durch die Öse eines die Verlängerung des rotierenden Grundstabes bildenden starken Messingdrahtes. Die Weite der Öse war so bemessen, daß der Faden ohne erhebliche Reibung durchgezogen werden konnte.

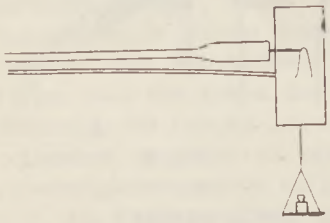
Fig. 5.

Setzten wir nun den Apparat durch Gewichtszug in Umdrehung, so wurde die Pappe nach unten gedrückt und der Faden ein entsprechendes Stück durchgezogen. Beim Zurückschnellen der Rohrleiste wurde der durchgezogene Faden nicht wieder durchgeschoben, und wir konnten durch angehängte Gewichte bestimmen, wie groß die Kraft war, die die durch die Länge des durchgezogenen Fadens gegebene Abbiegung der Rohrleiste hervorrief. Die Vorrichtung arbeitete sicher, wenn darauf geachtet wurde, daß keine rauhen Stellen am Faden entstanden. Um eine Vorstellung von der Größe der Abbiegung zu geben, sei bemerkt, daß bei 20 g Belastung eine Abbiegung von 3,5 cm entstand. Unsere Ergebnisse waren für zwei Neigungswinkel folgende: 1. Neigungswinkel 45°. a) Belastung 1 kg. Zeit für 3 Umläufe 2,8 Sek. Druck auf die lotrechte Platte $N_{90} = 0{,}1 \cdot F\,(0{,}0136\ \mathrm{m^2}) \cdot v^2 = 32$ g (Radius bis zum Mittelpunkt der Platte 0,72 m). Also der Abtrieb $A = N_{90} \cdot \sin 45 \cdot \cos 45 =$ 16 g. Beobachtet wurden 15—17 g. b) Belastung 0,5 kg. Umlaufzeit für 3 Umläufe 4 Sek. $N_{90} = 15{,}6$ g; also $A = 7{,}8$ g; beobachtet 8—9 g. 2. Neigungswinkel 30°. a) Belastung 1 kg, Umlaufzeit 2,1 Sek., $N_{90} = 56{,}5$ g, $A = N_{90} \cdot 0{,}43 = 24$ g. Die Beobachtungswerte schwankten zwischen 21 und 24 g, Mittel 22 g. b) Belastung 0,5 kg, Umlaufzeit 3 Sek., $N_{90} = 2{,}77$ g, $A = 11{,}9$ g; beobachtet wurden 12—13 g. Aus diesen Messungen ergibt sich die für die Flugzeugkonstruktion wichtige Folgerung, daß eine starke Neigung der Tragflächen nicht vorteilhaft ist. Bei gegebener Antriebskraft ergibt eine Neigung von 30° eine erheblich größere Geschwindigkeit und Tragkraft als die Neigung 45°. Bemerkt sei noch, daß es nicht möglich ist, mit der letzten Versuchsanordnung gleichzeitig den Rücktrieb zu messen, weil der Apparat der Luft zu große Angriffsflächen bietet.

Das Dasymeter als Luftwage.

Von Dr. K. Krüse in Innsbruck.

Einleitung. Zur Bestimmung des Litergewichtes der atmosphärischen Luft führen die physikalischen Lehr- und Experimentierbücher nur die direkte Methode an, nach der ein abgeschlossener Luftraum das eine Mal mit Luft gefüllt, das andere Mal möglichst luftverdünnt abgewogen und das Volumen dieses Raumes bestimmt wird. Auch Regnault, dem wir die ersten genauen Zahlenwerte für das spezifische Gewicht der Luft verdanken, benützte dieses Verfahren[1]). Dabei ergeben sich nun verschiedene Schwierigkeiten, wenn man Anspruch auf ein brauchbares zahlenmäßiges Ergebnis macht und sich nicht etwa bloß mit dem Nachweise begnügt, daß die Luft überhaupt ein Gewicht besitzt oder daß ein Liter Luft ungefähr 1 g schwer ist. Zunächst darf die abzuwägende Luftmasse nicht zu klein sein, damit die Gewichtsdifferenz noch meßbar ist, andererseits läßt sich eine Glaskugel von allzugroßer Dimension [1 Liter bis zu mehreren Litern[2])] und beträchtlichem Gewicht — bei hoher Evakuierung muß das Gefäß ziemlich dickwandig sein — nicht leicht an einer feinen, empfindlichen Wage anbringen.

Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Volumsmessung des Luftraumes. Die genaue Methode durch Füllen mit chemisch reinem Quecksilber und Abwägen desselben ($V = G : 13{,}59$) ist aus mehrfachen Gründen für Demonstrations- und Schülerversuche nicht zu empfehlen, man wird dafür besser Wasser verwenden und zwar erst nach der Wägung des luftgefüllten und luftentleerten Ballons, weil sonst der Innenraum lange Zeit von einer mit Wasserdampf gesättigten Luft erfüllt bleiben und auch noch an den Innenwänden Wasser anhaften wird. Mißt man den Grad der Luftverdünnung nicht mit einem Vakuummeter, so wird man die evakuierte Glaskugel unter Wasser öffnen, um die tatsächliche durch die Pumpe oder auf anderem Wege entfernte Luftmenge festzustellen; so ist insbesonders zu verfahren, wenn man zum Versuche — wie mehrfach angegeben — nur dünnwandige Kochkolben verwendet und die Luft durch Aussaugen oder Erwärmen verdünnt. Dieses letztere Verfahren hat den Vorzug einer rascheren Durchführbarkeit des Experimentes, liefert aber nur ganz rohe Zahlwerte für das Litergewicht der Luft und wird sich daher mehr für die Unterstufe des Physikunterrichtes eignen[3]).

Hat man einmal das spezifische Gewicht der Luft bestimmt, so unterliegt es dann keinen besonderen experimentellen Schwierigkeiten mehr, die Dichte anderer Gase, bezogen auf Luft, mit gewünschter Genauigkeit festzustellen, sei es nach dem gleichen Verfahren, wie für die Luft oder in besonders bequemer Art mit der Rueprechtschen Demonstrationswage oder mittels der Gaswage nach Lux (speziell für Leuchtgas) oder endlich nach dem Verfahren von Graham und Bunsen aus der Ausströmungsgeschwindigkeit der Luft und jener des betreffenden Gases aus engen Öffnungen.

Gewicht der Luft nach dem Auftriebverfahren. Denkt man sich ein Dasymeter im luftleeren Raume im Gleichgewichte und vernachlässigt den Auftrieb der Luft für das kleine Gegengewicht, wenn man nunmehr das Instrument in den lufterfüllten Raum sich gebracht denkt, so entspricht dasselbe vollkommen einer hydrostatischen Wage (Mohrsche Wage), wobei die Glaskugel als Senkkörper anzusehen ist. Ein Unterschied liegt nur darin, daß erstens das Dasymeter gewöhnlich im lufterfüllten Raume sich im Gleichgewichte befindet und zweitens nicht der Senkkörper allein, sondern die ganze Wage in die auftreibende Substanz untergetaucht ist, weshalb man beim obigen Vergleiche die Annahme machen muß, daß das Gegen-

[1]) Siehe Müller-Pfaundler, Lehrb. d. Physik, Bd. III, § 37, Braunschweig 1907.

[2]) Müller-Pfaundler erwähnen an derselben Stelle Gefäße von 8—10 Liter Inhalt.

[3]) Vgl. dazu z. B. Frick-Lehmann, Physikalische Technik, Bd. I, 2. Abt., 7. Aufl. (Braunschweig 1907), S. 977, Wägung der Luft.

gewicht keinen Auftrieb erfahre; derselbe ist auch tatsächlich nicht größer als etwa 1% vom Auftriebe der Glaskugel. Vielleicht waren diese Unstimmigkeiten beim Vergleiche mit der hydrostatischen Wage die Ursache, daß das im folgenden angegebene Verfahren der Luftdichtebestimmung bisher noch nirgends zur Anwendung gekommen ist[1]).

Auch in der Technik findet man dieses Prinzip nur bei der Gaswage von A. Custodis (Düsseldorf, 1892) und zwar in etwas abgeänderter Weise zur Bestimmung des CO_2-Gehaltes von Rauchgasen. An dieser Wage hängen zwei möglichst gleiche Glasballons, von denen der eine in Luft, der andere in das zu untersuchende Gas eintaucht, die sich in zwei Gaskammern unterhalb der Wage befinden. Die Wage wäre aber zur Bestimmung der Luftdichte nicht verwendbar, da ein luftdichter Abschluß einer Kammer, die zu evakuieren wäre, nicht angebracht werden kann. Bei der in der Einleitung erwähnten Luxschen Gaswage beruht die Dichtebestimmung auf direkter Wägung des Gases, das eine an der Wage angebrachte Hohlkugel beständig durchstreicht[2]).

Theorie des Versuches. Es bedeute G das Gewicht, V das Volumen der Glaskugel des Dasymeters, ebenso g und v die bezüglichen Größen des Gegengewichtes, ferner γ jenes Übergewicht, durch welches der Zeiger der Wage auf dieselbe Stelle gebracht wird, die unter dem Rezipienten bei der Verdünnung b' erreicht wurde; s sei das spezifische Gewicht der Luft beim herrschenden Luftdruck des Beobachtungsortes, s' jenes beim Druck b' unter dem Rezipienten.

Dann ist im Luftraume:

$$G - V \cdot s = g - v \cdot s'$$

und unterm Rezipienten nach Evakuierung:

$$G - V \cdot s' = g - v \cdot s' + \gamma$$

durch Subtraktion der ersten Gleichung von der zweiten ergibt sich:

$$V \cdot (s - s') = v(s - s') + \gamma$$

oder

$$(V - v) \cdot (s - s') = \gamma$$

nach dem Mariotteschen Gesetze ist

$$s : s' = b : b'$$

und somit

$$s' = s \cdot \frac{b'}{b}.$$

Nach Substitution dieses Ausdruckes in obige Gleichung für γ erhält man schließlich:

$$s = \frac{b \cdot \gamma}{(V - v)(b - b')} = \frac{b \cdot \gamma}{\Delta V \cdot \Delta b}.$$

Diese Formel verwenden wir zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Luft. Andererseits könnte man sie auch zum Nachweis der Gültigkeit des archimedischen Prinzips benützen, indem man γ aus ihr berechnet und dann durch Versuch direkt ermittelt[3]).

Zur Bestimmung von γ verwende man mehrere — eventuell aus dünnem Draht selbstgefertigte — Reitergewichte von 10 mg und 5 mg und ermittle im vorhinein die Empfindlichkeit des Dasymeters, dessen Zunge über einer Skala spielen muß, in Milligramm für den Ausschlag von einem Skalenteil, so daß man beim Versuche selbst nur zu Beginn und am Ende die Stellungen des Zeigers abzulesen hat. Dabei ist es nicht notwendig, daß das Dasymeter anfänglich genau auf Null eingestellt ist, es kann vielmehr zur Erzieluug eines größeren Meßbereiches von Vorteil sein, durch Anbringen einiger Reitergewichte auf der Seite des Gegengewichtes einen Ausschlag nach der Seite der Glaskugel zu bewirken, wie dies auch bei dem in Verwendung genommenen Apparate, der nur wenige Skalenteile besaß, geschehen ist.

[1]) Das Dasymeter in Form einer Senkwage, wie es bei Rosenberg (Experimentierbuch, I. Bd., 4. Aufl., Wien 1919) erwähnt ist, hat mit dieser Idee nichts gemein.

[2]) Vergl. Parnicke, die maschinellen Hilfsmittel der chemischen Technik, Frankfurt 1898.

[3]) Vergl. Schweidler, Praktische Übungen, Wien 1911, Luftpumpenversuche, S. 37/38.

Die etwas zeitraubende Bestimmung der Volumina V und v wird man gleichfalls vor dem eigentlichen Versuche ein für allemal möglichst genau durchführen und zwar jene des kleinen Gegengewichtes — falls es keine mathematisch berechenbare Gestalt besitzen sollte — auf hydrostatischem Wege aus Gewicht und Auftrieb im Wasser, das Volumen der Glaskugel geometrisch aus dem durch eine Schublehre ermittelten Kugeldurchmesser und angenäherter Berechnung des kleinen Glashakens. Diese Volumsmessungen erfolgen bei Zimmertemperatur, damit keine Korrektur wegen Ausdehnung durch Erwärmung anzubringen ist.

Die obige Formel für s ergibt das spezifische Gewicht der Luft für den herrschenden Druck b und die jeweilige Temperatur t. Zur Umrechnung auf den Normalzustand von 760 mm und 0^0 dient die Gleichung:

$$s_0 = s \cdot \frac{760}{b}\left(1 + \frac{t}{273}\right) = s \cdot \frac{760}{b} \cdot \frac{T}{273}.$$

Führt man den oben für s abgeleiteten Wert hier ein, so erhält man:

$$s_0 = \frac{760 \cdot T \cdot \gamma}{273 \cdot \Delta V \cdot \Delta b}.$$

Wenn also das Vakuummeter direkt Δb abzulesen gestattet — indem etwa Quecksilber durch die Luftpumpe in einer 80 cm langen Röhre aufgesaugt wird — so entfällt die Ablesung des während des Versuches vorhandenen Luftdruckes.

Bequemer läßt sich s_0 aus s, t, b unter Benutzung entsprechender Tabellen direkt ermitteln[1]).

Wandstärke der Hohlkugel. Damit das Gegengewicht möglichst klein sei, muß die Glaskugel des Dasymeters hohl und dünnwandig sein, andererseits kann aber die Wandstärke nicht allzu gering bemessen sein, da sonst ein Überdruck von innen ausdehnend auf die Kugel wirken kann und diese somit eine Volumsänderung erfahren könnte, die nicht in Rechnung gezogen wurde. Es ist daher von Interesse zu wissen, welche Wanddicke die Hohlkugel eines vorgegebenen Apparates besitzt; diese kann durch folgende Rechnung ermittelt werden.

Bedeutet V' das Volumen des Hohlraumes, r dessen Halbmesser, weiter σ das spezifische Gewicht des Materials der Kugel, σ' jenes des Gegengewichtes, dann ist

$$G = g = (V - V') \cdot \sigma$$

somit

$$V' = \frac{4\pi}{3} r^3 = V - \frac{g}{\sigma}$$

und wegen $g = v \cdot \sigma$ ergibt sich weiter:

$$r^3 = \frac{3}{4\pi}\left(V - \frac{\sigma'}{\sigma} \cdot v\right).$$

Es ist also der Halbmesser des Hohlraumes:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}\left(V - \frac{\sigma'}{\sigma} \cdot v\right)}$$

andererseits der Halbmesser der Kugel selbst

$$R = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \cdot V}$$

mithin

$$r = R\left(1 - \frac{\sigma'}{\sigma} \cdot \frac{v}{V}\right)^{1/3} = R\left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{\sigma'}{\sigma} \cdot \frac{v}{V} - \frac{1}{9} \cdot \left(\frac{\sigma'}{\sigma} \cdot \frac{v}{V}\right)^2 - \cdots\right]$$

und für die gesuchte Wandstärke in genügender Annäherung

$$R - r = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{v}{V}\right) \cdot \left(\frac{\sigma'}{\sigma}\right).$$

Bestehen Hohlkugel und Gegengewicht aus dem gleichen Material, z. B. Messing, so ist $\sigma' = \sigma$ und

[1]) Vergl. z. B. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik.

$$R - r = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{v}{V}\right)$$

ist dagegen $\sigma' > \sigma$ (Glas $\sigma = 2{,}5$ g, Messing $\sigma' = 8{,}6$ g), so braucht man nur die für den ersten Fall berechneten Werte der Wandstärke mit $\sigma' : \sigma = 3{,}44$ zu multiplizieren.

Die hier abgeleitete Näherungsformel für die Wandstärke ergibt sich auch auf einfachere Art dadurch, daß man das Volumen der Hohlkugel nach der Formel $G \cdot h = 4\,R^2\,\pi \cdot (R - r)$ berechnet. Man erhält dann $4\,R^2\,\pi \cdot (R - r) \cdot \sigma = v \cdot \sigma'$

und $$R - r = \frac{v}{4\,R^2\,\pi} \cdot \frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{v}{V}\right) \cdot \left(\frac{\sigma'}{\sigma}\right)$$ wie oben.

Allerdings ist dann eine Abschätzung des Fehlers wie im ersten Falle hier nicht möglich.

Durch Substitution der speziellen Zahlenwerte ergibt sich aus der Formel folgende Tabelle für verschiedene Größen der Kugel und des Gegengewichtes.

Kugelvolumen	Kugelradius	Wandstärke $R - r$ in mm			
		bei gleichem Material von Kugel u. Gegengewicht		für Glaskugel und Gegengew. aus Messing	
V in cm³	R in mm	$V = 100\ v$	$V = 50\ v$	$V = 100\ v$	$V = 50\ v$
100	28,8	0,096	0,19	0,33	0,66
200	36,3	0,121	0,24	0,42	0,83
300	41,5	0,138	0,28	0,48	0,95
400	45,7	0,152	0,31	0,53	1,05
500	49,2	0,164	0,33	0,57	1,13

Man ersieht daraus, daß bei den gebräuchlichen Dasymetern, wo meist die obigen Beziehungen zwischen V und v bestehen, die Glasdicke der Kugel eine sehr geringe ist und weiter, daß die Wandstärke bei gleichbleibendem Verhältnis $v : V$ um so größer wird, je größer die Hohlkugel selbst angefertigt wird.

Durchführung und Ergebnisse des Versuches. Die Empfindlichkeit des in Verwendung genommenen Dasymeters betrug 17 mg für den Skalenteil, wobei Zehntel noch geschätzt werden konnten. Einem abgelesenen Ausschlag von α Skalenteilen entspricht also das Gewicht $17\,\alpha$ mg.

Das Volumen der Glaskugel einschließlich des Hakens berechnete sich zu $V = 98{,}99$ cm³, jenes des zylindrischen Gegengewichtes aus Messing war $v = 0{,}94$ cm³, so daß

$$\Delta\, V = V - v = 98{,}05 \text{ cm}^3 \neq 98 \text{ cm}^3.$$

Während des Versuches betrug der Luftdruck $b = 702$ mm, die Lufttemperatur $t = 18^0$, also $T = 291^0$.

Das Dasymeter zeigte anfänglich bei 70 mg Übergewicht einen Ausschlag $\alpha = 3{,}8$ Skalenteile gegen die Seite der Glaskugel. Nun wurde mittels einer Wasserluftpumpe evakuiert, sodann Rezipient und Manometer durch einen Hahn abgesperrt und für verschiedene Verdünnungsgrade, die durch partienweises Einlassen von Luft hergestellt wurden, die Ausschläge des Zeigers am Dasymeter abgelesen. Daß Auftrieb und Verdünnung stets gleichzeitig abgelesen werden können, ist ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens, denn bei der direkten Wägung eines evakuierten Glasballons hat man keine Gewähr, daß sich während der längere Zeit erfordernden Wägung nicht langsam der Grad der Verdünnung durch Eindringen von Luft vermindert, was sich nur bei sehr vollkommener Dichtung verhüten läßt.

Aus den oben angeführten Zahlen ergibt sich nun für das spezifische Gewicht der Luft:

$$s = \frac{702 \times 17 \cdot \alpha}{98 \cdot \Delta b} \quad \text{bzw.} \quad s_0 = \frac{760 \times 291 \times 17 \cdot \alpha}{273 \times 98 \cdot \Delta b}$$

oder berechnet:

$$s = 121{,}8 \cdot \left(\frac{\alpha}{\Delta b}\right) \qquad s_0 = 140{,}5 \cdot \left(\frac{\alpha}{\Delta b}\right).$$

Die Ablesung des Verdünnungsgrades und der Ausschläge ergab folgende Zahlenwerte:

$\Delta b = b - b' =$	579	503	464	430	392	339	287	mm
$\alpha =$	5,2	4,6	4,2	3,9	3,6	3,1	2,6	Skalenteile
mithin $\frac{\Delta b}{\alpha} =$	111,4	109,3	110,5	110,3	108,9	109,4	110,4	

als Mittelwert aller 7 Messungen ergibt sich für $\frac{\Delta b}{\alpha} = 110{,}0$, die beiden Extreme sind von diesem um $\pm$ 1,3 % abweichend. So ergibt sich dann schließlich

$$s = 121{,}8 : 110{,}0 = \underline{1{,}11 \text{ mg}}$$
$$s_0 = 140{,}5, : 110{,}0 = \underline{1{,}28 \text{ mg}}$$

dagegen sind die genauen Werte für trockene Luft (nach Kohlrausch, praktische Physik)

$$s = 1{,}119 \text{ mg}, \; s_0 = 1{,}293 \text{ mg}$$

bei feuchter Luft kann das spezifische Gewicht bis zu 1 % geringer sein; nachdem nun die erhaltenen Werte ungefähr um 1 % kleiner sind als die genauen und die Messung in feuchter Luft von etwa 50 % Feuchtigkeit ausgeführt wurde, so ist demnach das Messungsergebnis auf 2 Dezimalen richtig.

Schlußbemerkungen. Mittels des Dasymeters kann das spezifische Gewicht der Luft bequemer und genauer ermittelt werden als nach dem direkten Verfahren. Nachdem diese Zahl eine universelle, immer wieder zur Verwendung kommende Konstante ist, kann auch die Anforderung erhoben werden, daß deren Ermittelung im Experimentalunterrichte mit tunlichster Genauigkeit erfolge. Zu diesem Zweck eignet sich allerdings nicht jedes der gebräuchlichen Dasymeter, von denen manche ohne Skala hergestellt sind und namentlich oft eine zu geringe Empfindlichkeit besitzen; außerdem sind die Dimensionen der Glaskugel häufig zu klein bemessen, dieselbe sollte mindestens 100 cm³ Inhalt besitzen ($d = 58$ mm), womöglich aber noch mehr. Der Größe von Kugel und Wagebalken sind allerdings dadurch Grenzen gesetzt, daß das Instrument unter dem Rezipienten der Luftpumpe noch bequem Platz finden muß.

Zur Erreichung einer größeren Genauigkeit wäre also die Wage entsprechend umzubauen, namentlich hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit und der Größe des Auftriebkörpers; ein solches Dasymeter könnte dann als „Luftwage“ bezeichnet werden. Diesbezüglich steht der Verfasser dieser Mitteilung bereits mit einer physikalischen Werkstätte in Verhandlung, deren Ergebnis später an dieser Stelle bekanntzugeben beabsichtigt ist.

Lichtmühle und Thermosäule als Strahlungsmesser.

Von **H. Hermann** in Tübingen.

Wie Freuchen (*ds. Ztschr. XX, 28*) und Kann (*ebd. 246*) vorgeschlagen haben[1]), verwende ich die Lichtmühle als Strahlungsanzeiger für die Lehre von der strahlenden Wärme auf der Oberstufe. Meine Gründe dafür sind: Vermeidung bloßer Wiederholung der Unterstufe, auf der ich Luftthermoskope benutze; gute Sinnenfälligkeit

[1]) Auszug beider Arbeiten in Rosenbergs Experimentierbuch (3) Bd. 2, S. 470. — Vgl. auch Volkmann in Heft 1, S. 28.

der Anzeige; Vermeiden der Gedankenablenkung auf für den Anfänger fernliegende Dinge, statt dessen Konzentration auf den Stoffkreis der Wärmelehre, auch bei der Erklärung des Instruments selbst.

Zeitsparend ist eine Mühle mit zwei übereinander angebrachten, voneinander unabhängigen Rädchen. Sie zeigt die gute geometrische Abgrenzung eines von unsichtbaren Strahlen erfüllten Kegels oder Zylinders. Im Brennpunkt eines von Parallelstrahlen getroffenen Hohlspiegels z. B. kann man sie so aufstellen, daß nur eines der Rädchen sich dreht. Durch einen Steinsalzblock wird diese Drehung kaum merklich verlangsamt; durch Glas stark usw.

Außerdem kann die Lichtmühle noch einem weiteren Zweck dienen, nämlich dazu, die Ausdehnung des Strahlungsbegriffs ins Unsichtbare voll zu rechtfertigen und die Erfüllung des photometrischen Gesetzes punktähnlicher Strahlungsquellen auch bei dunkler Strahlung zu erweisen. Die Lichtmühle hat vor den anderen üblichen Hilfsmitteln hierfür einen wesentlichen Vorzug; sie läßt sich in leicht verständlicher Weise eichen. Meine Vorbereitungen für eine umfassendere quantitative Prüfung meiner Lichtmühle waren wegen Versagens geeigneter Mitarbeiter stecken geblieben, als ich durch Edith Einsteins Arbeit zur Radiometertheorie *(Ann. der Physik 69, 241, 1922)* darauf aufmerksam gemacht wurde, daß schon Crookes selbst solche Prüfungen veröffentlicht hat. Man hat daher die Wahl, ob man die Prüfung wiederholen oder die leicht zu lesende Crookessche Veröffentlichung[1]) geeigneten Schülern als Literaturstudie vorlegen will, wie es von Dr. Martin Gebhardt-Dresden *(ds. Ztschr. 35, 1)* empfohlen wurde. Crookes fand die Umdrehungsgeschwindigkeit unabhängig vom Azimut des einfallenden Lichtes; man kann daher Strahlungen punktähnlicher Quellen einwandfrei addieren, indem man die Quellen auf einem Kreise um die Mühlendrehspitze als Mittelpunkt anordnet. Ferner fand er sie genau proportional der Strahlung, also das Produkt aus Umlaufszeit und Anzahl der gleichen Strahler auf dem Kreise unveränderlich. Endlich konnte er mit der so geeichten Mühle das Entfernungsquadratgesetz bestätigen. In seiner Veröffentlichung geht diese Prüfung den anderen beiden voraus.

Mit Kerzen als Strahlern auf einem Kreise von 1 Fuß Halbmesser fand Crookes

Kerzenzahl	Anordnung	Umdrehungszeit in Sek.	Produkt
1	—	78	78
2	beisammen	39,5	79
2	gegenüber	39	78
3	beisammen	26,5	79,5
3	auf dem Kreis verteilt	26	78
4	beisammen	19	76
5	"	16	80
5	auf dem Kreis verteilt	15,5	77,5

Crookes Prüfung des Entfernungsgesetzes mit einer Petroleumlampe hatte, etwas anders notiert als im Original, folgendes Ergebnis:

a Abstand in m	τ Umdrehungszeit in Sek.	$\tau : a^2$
0,15	6	266
0,2	8,5	213
0,25	11	176
0,3	15,5	171
0,35	20	163
0,375	21	149
0,4	23,5	147
0,45	30	148

[1]) Phil. Trans. 1876, 341—343 und Plate 36. An diesen Lesestoff würde sich dann passend das Heinrich-Rubens-Nachrufheft der Physikalischen Zeitschrift oder der Naturwissenschaften vorigen Jahres anschließen lassen.

a Abstand in m	τ Umdrehungszeit in Sek.	$\tau : a^2$
0,5	35	140
0,55	42	139
0,6	52	145
0,65	60	142
0,7	65	133
0,75	74	131
0,8	83	130
0,85	94	130
0,9	101	125
0,95	116	129
1,00	129	129
1,05	140	127
1,10	158	130
1,15	170	127
1,2	186	130

Eine wirkliche Bestätigung des photometrischen Gesetzes liefert diese Reihe erst von 0,7 m Abstand an; vorher ist die Lampe offenbar nicht hinreichend punktähnlich. Diese Schwierigkeit vermehrt sich, wenn man mit dunkler Strahlung experimentiert. Einen geeigneten Strahler verfertigte ich, indem ich einen großen Teclu-Brenner mit einer Art Pilzkopf versah, jedoch höher als solche Köpfe für Abdampfzwecke zu sein pflegen. Eine kleine überall geschlossene zylindrische Blechbüchse nach Art solcher, in denen Farblacke verkauft werden, wurde in der Mitte einer der ebenen Flächen mit radialen Schnitten angestochen und das Brennerrohr hineingedrückt. Die Zylinderwand wurde am unteren Rand mit einem Kranz von Löchern versehen, die mittels eines Nagels eingeschlagen wurden. Das aus diesen Löchern blau brennende Gas erhitzt den Zylinder, ohne ihn merklich zum Leuchten zu bringen; bei konstantem Gasdruck bleibt die Strahlung bald unverändert. Hatte man nicht die Zeit für eine ausgedehnte Versuchsreihe nach Art der oben mitgeteilten, so war es am besten, mit der größten möglichen Entfernung zu beginnen und hierauf zur 0,7fachen Entfernung überzugehen; die Umlaufszeiten verhielten sich dann befriedigend wie 2 zu 1.

Die Thermosäule hat vor der Lichtmühle den viel größeren Meßbereich voraus; nach Fr. C. G. Müller (*Technik des physikal. Unterr. S. 164*) kann man mit ihr Strahlungen vom Stärkeverhältnis 9 : 1 vergleichen. Der dort angegebene Versuch ist jedoch für sich allein unvollständig, da die Proportionalität vom Temperaturanstieg der bestrahlten Fläche und Intensität der Strahlung kein Axiom ist. Man kann ihn so vervollständigen, daß man die Strahlung auf sichtbares Licht beschränkt, z. B. indem man eine Stielglühlampe nach Grimsehl (*Sonderheft I. 1 ds. Ztschr.*) in einen Glasbecher mit Bichromatlösung taucht; daß für diese Strahlung das photometrische Gesetz gilt, ist aus der Photometrie bekannt; zeigen sich nun die Ausschläge der bestrahlten Säule den photometrischen Intensitäten proportional, so folgt, daß auch die Ausschläge bei unsichtbarer Strahlung so gewertet werden dürfen. Läßt man daher das Filter weg und wiederholt den Versuch, wobei, wie der Schüler aus der Spektroskopie weiß, unsichtbare Strahlung zur Mitwirkung gelangt, so wird er beweiskräftig. Andere Eichverfahren sind zeitraubend und, besonders wenn dabei nur infrarote Strahlung verwendet werden soll, anspruchsvoll (z. B. durch Ersatz eines Strahlers in Entfernung 1 durch 4 gleiche in Entfernung 2, wobei noch ein sehr enger Kegelwinkel eingehalten werden soll). Das geistreiche Eichverfahren von Melloni selbst (*Pogg. Ann. XXXV, 180;* Auszug bei *Wüllner, Experimentalphysik, 4. A. 3. Bd. §* 21) setzt eine beiderseits gleiche und gleich zugängliche Säule voraus, was bei modernen Vakuumsäulen nicht mehr der Fall zu sein pflegt. In diesem Fall wird die Strahlung je nach ihrer Richtung auf der Normalen der Säulenfläche mit einem Vorzeichen versehen, das mit dem Vorzeichen des Galvanometerausschlags

übereinstimmt. Melloni konnte so prüfen, ob zwei Strahlungen verschiedenen Vorzeichens mit den Einzelausschlägen a und $-b$ beim gleichzeitigen Wirken den Ausschlag $a - b$ ergeben. Die Abhandlung ist bei modern eingerichteter Sammlung als klassischer Lesestoff weniger geeignet, weil die Eichung mit den Schwierigkeiten einer trägen Säule, eines ungedämpften Instruments und einer verwickelten Galvanometerfunktion verquickt ist; Melloni arbeitete mit Erstausschlägen seiner Säule, die im Umkehraugenblick der Nadel wieder von der Strahlung abgeschirmt wurde.

Versuche mit der einfachen Kathodenstrahlenröhre.

Von **S. Janß** in Uetersen (Holstein).

Hochheim[1]) hat auf die Verwendung der Braunschen Röhre im Unterricht aufmerksam gemacht. Für manche der dort angegebenen Versuche sind auch die einfachen Röhren brauchbar, in denen die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen an der auf einem etwas schräg gegen ihre Bahn gestellten Leuchtschirm erzeugten Fluoreszenz demonstriert wird[2]). (Das hier vorhandene Rohr wurde vor dem Kriege von P. Kröplin, Pinneberg i. Holstein, geliefert.)

I. Der Vorgang in der Röhre

bei ihrer Anwendung für die Analyse von Strom- und Spannungsschwankungen ist folgender. Es fliegen schnell hintereinander Elektronen durch das elektrostatische oder magnetische Feld und werden durch dieses aus ihrer Bahn abgelenkt. Der augenblickliche Zustand des Feldes lenkt die Teilchen momentan um einen gewissen Betrag ab, und diesem entsprechend erzeugen sie an einer Stelle des Schirms Fluoreszenz. Hat sich kurze Zeit darauf das Feld verändert, so fliegen andere Elektronen durch dasselbe, werden um einen anderen Betrag abgelenkt und erzeugen an einer anderen Stelle des Schirms Fluoreszenz. Der augenblickliche Ort der Fluoreszenz ist demnach nur bedingt durch die augenblickliche Kraftwirkung, nicht auch durch die voraufgehenden, da jeder neue Zustand des Feldes andere Elektronen vorfindet.

Es ist darum nicht einwandfrei, wenn Schulze[3]) die Elektronen in Braunschen Röhren als schwingende Gebilde bezeichnet. Wäre das der Fall, so würde wie bei mechanischen Systemen zwischen Elektronen- und Feldschwingung eine durch Dämpfung und Eigenschwingung bestimmte Phasenverschiebung vorhanden sein. In „Schwingungen“ befindet sich die geometrische Bahn der einander folgenden Elektronen. — Auch die Wendung, daß die Kathodenstrahlen praktisch frei von Masse sind, und darum momentan der Kraft folgen (Grimsehl, Hochheim, Grätz), kann mangelhafte Vorstellungen erwecken. In den Formeln der Elektronentheorie, besonders auch in den hier in Betracht kommenden für die magnetische und elektrostatische Ablenkung tritt die Maßzahl m der Masse auf. Auch gröbere mechanische Massen mit elektrostatischer Ladung würden beim Durchfliegen der Felder momentan abgelenkt werden, und die Bahnen einander folgender Teilchen würden genau so „schwingen“ wie die der Elektronen; die jeweiligen Ablenkungen würden aber sehr viel kleiner sein, weil die Ladung der Elektronen im Verhältnis zu ihrer Masse so groß ist. Ohne Masse wären die Kathodenstrahlen für diese Untersuchungen unbrauchbar; denn schon die geringste magnetische Feldstärke H würde die Elektronen nach der Formel $\frac{m}{e} \cdot v = H\varrho$ auf einem Kreis mit $\varrho = 0$ festhalten, oder sie würden sich momentan in Richtung der

[1]) Diese Zeitschr. 29, 1; 1916 u. 30, 32; 1917 u. 30, 57; 1917.
[2]) Vgl. d. Zeitschr. 34, 269; 1921.
[3]) Handwörterbuch d. Naturw. III, S. 300.

elektrischen Kraftlinien zur Platte bewegen, da diese Komponente $\left(\frac{e}{m} \cdot \frac{E}{2} t^2\right)$ für das kleinste Zeitteilchen unendlich wird. In bezug auf die Masse ist demnach wertvoll nicht, daß ihre Maßzahl verschwindend klein ist, sondern daß die spezifische Ladung so groß ist. Die Wirkung würde genau dieselbe sein, wenn die Masse ins Sichtbare gesteigert würde, wenn nur die Ladung in demselben Maße wüchse.

Die Vorteile der Elektronen zur Analyse schnell verlaufender Vorgänge sind demnach folgende: ihre große spezifische Ladung bedingt relativ große Ablenkungen. Infolge ihrer großen Geschwindigkeit ändert sich bei den praktischen Schwankungen der Felder die Stärke derselben in der zum Durchqueren erforderlichen Zeit nicht. Jeder neue Zustand beeinflußt andere Teilchen, unabhängig von der Wirkung voraufgehender Impulse. Praktisch wird jede Kraftänderung auch momentan angezeigt, da die Zeit zwischen dem Austritt aus dem Feld und der Entstehung der Fluoreszenz verschwindend klein ist. (Auch wenn diese Zeit merklich wäre, würde das im allgemeinen so wenig stören, wie etwa die nachträgliche Betrachtung der Photographie eines Vorganges.) — Bedenken treten erst dann auf, wenn die beobachtete Frequenz so hoch ist, daß man das Feld während des Durchlaufens nicht mehr als konstant annehmen darf.

II. Versuchsanordnung.

In dieser Röhre ist gegenüber der Braunschen Röhre der Weg der Strahlen nach dem Durchqueren des Feldes nur kurz, und der Durchmesser (4,7 cm) bedingt eine größere Entfernung zwischen Strahlen und ablenkenden Spulen. Darum sind im allgemeinen nur Spulen mit Eisenkernen (aus Blumendraht) zu verwenden. Der Einfluß der Hysteresis scheint nur gering zu sein (Versuch 4). Eine der benutzten Spulen ist eine kleine Primärspule (mit 2×75 Windungen eines 1 mm dicken Drahtes) für Voltainduktion; die zweite hat 4×70 Windungen; über eine derselben kann noch eine dünndrähtige geschoben werden. Die Spulen werden in Holzstative geklemmt und wirken gleich hinter dem Spalt auf die Kathodenstrahlen. Diese Anordnung genügt für die Versuche 1, 2, 3, 4, 7, 8.

Für die Untersuchung von Schwingungen muß man aber im allgemeinen einen Spalt quer zum Rohr stellen, der aus der Bahn einen „Punkt“ ausblendet. Dieser Punkt schwingt dann im Spalt auf und ab, und seine Bewegung kann im rotierenden Spiegel räumlich ausgebreitet werden. Durch passende Lager L_1 und L_2 (Fig. 1) kann man das Rohr auf einem Brett B befestigen; an das Brett leimt man einen entsprechend gefalzten Pappschirm (in Fig. 1 dick ausgezogen) von etwa 10 cm Höhe mit etwa 3 Spalten S_1, S_2, S_3, von denen stets zwei durch Schieber in ersichtlicher Weise geschlossen sind. — Die Intensität dieses Punktes läßt sich ganz beträchtlich steigern, wenn man einen Hufeisenmagneten M mit weiten Schenkeln (von einem Telephonläutewerk) von hinten dem Rohr nähert. Ist in der angegebenen Lage der Nordpol oben, so werden die Bahnen der Elektronen, die sonst den Schirm nur stark streifend oder überhaupt nicht treffen würden, ihn unter größeren Winkeln und darum in größerer Zahl treffen. Die Intensität ist in dem Maße gesteigert, daß viele Vorgänge im Spiegel von 12—15 Schülern gleichzeitig gesehen werden können. — Ablenkungen durch schwache Ströme (Versuch 6) müssen in S_3 beobachtet werden. Dort ist aber der Fluoreszenzstreifen wegen seiner Divergenz schon breit. Man kann die ganze Bahn aber annähernd auf der Anfangsbreite halten und außerdem die Intensität mäßig erhöhen, wenn man den Magneten in die gestrichelte Lage M_1 bringt.

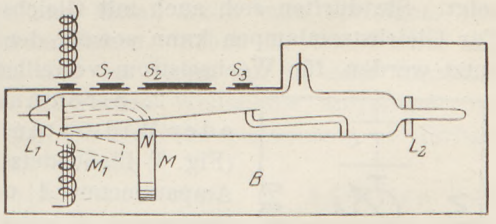

Fig. 1.

Die Erklärung ist folgende: (Fig. 2; die gestrichelten Linien sollen nur den räumlichen Eindruck erhöhen.) KS sei ein Kathodenstrahl der gewünschten Richtung, KS_1 ein damit divergierender; er treffe das Feld H von gezeichneter Richtung; H_1 ist die Komponente senkrecht zur Bahn. Dann wird der Strahl in Richtung S_1S_2 abgelenkt. Richtung und Stärke von H können so gewählt werden, daß S_1S_2 annähernd in einer Ebene parallel KS verläuft und gegen den Schirm $KSAB$ abgelenkt wird. Ersteres hebt die Divergenz des Fluoreszenzstreifens auf, beides erhöht die Intensität. (Statt des permanenten Magneten wird man auch einen entsprechenden Elektromagneten verwenden können.) Die beste Stellung des Magneten findet man durch Ausprobieren.

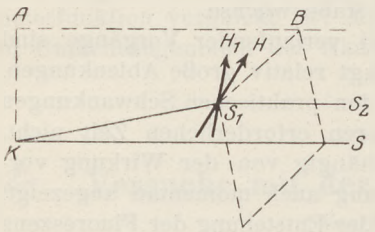

Fig. 2.

Im allgemeinen genügt eine ablenkende Spule; beobachtet man mit Hilfsmagneten M, dann befindet sich die Spule am besten auf der vorderen Schirmseite, da die vor M den Schirm treffenden Teilchen nahe der vorderen Wand vorbeistreichen; ohne M wird man von der zufälligen Rohrform abhängig sein. — Elektrostatische Ablenkung durch außen angebrachte Platten gelang auch bei elektrischen Schwingungen nicht[1]). — Ich benutze eine Influenzmaschine doppelter Drehung von 50 cm Scheibendurchmesser, mit Handkurbel; eine kleinere geliehene mit 30 cm Durchmesser reichte zur Not auch aus. Die erforderliche Spannung entspricht einer Funkenstrecke von rund 3 mm.

III. Versuche.

1. Widerstandsänderung einer Metall- und einer Kohlenfadenlampe mit der Temperatur. Der Strom einer von Akkumulatoren gespeisten Taschenlampenbirne (Metallfaden) lenkt die Bahn unmittelbar nach Stromschluß mehr ab als später. Bei einer kleinen Kohlenfadenlampe nimmt die Ablenkung dagegen allmählich zu, sehr deutlich, wenn die Lampe nur mäßig belastet ist. Die dadurch dargestellten Stromänderungen zeigen an, daß der Widerstand einer Metallfadenlampe mit der Temperatur zunimmt, der des Kohlenfadens aber abnimmt. — Mit Wechselstrom aus dem Netz für große Birnen oder aus dem Klingeltransformator für kleine Birnen werden dieselben Änderungen durch die Breite des „Fächers“ (s. u.) angezeigt. Sie dürften sich auch mit Gleichstromnetzen entsprechend verfolgen lassen. — Für Gleichstromlampen kann sowohl der Induktor als auch die Influenzmaschine benutzt werden, für Wechselstrom vorteilhaft nur letztere.

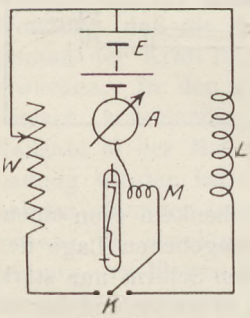

Fig. 3.

2. Stromanstieg im Kreis mit Selbstinduktion oder Widerstand. Der Strom einer Akkumulatorenbatterie E (Fig. 3) fließt stets durch den ablenkenden Magneten M und das Amperemeter A und dann mittels einfacher Berührung der Drähte bei K entweder durch die Selbstinduktion L (Induktor, Elektromagnet, Dynamomodell mit festgeklemmtem Anker, je nach Größe einzeln oder hintereinander) oder den Widerstand W; W ist so groß, daß die Ströme in W und L gleich werden. — Schließt man den Strom durch L, so wandert die leuchtende Bahn erheblich langsamer in die Endlage, als wenn er durch W fließt. Induktor und Influenzmaschine sind gleich gut verwendbar.

3. Magnetische Permeabilität des Eisens. Durch eine Spule ohne Eisenkern schickt man einen starken Gleichstrom i_1, der eine gewisse Ablenkung erzeugt, die man sich an einer zufälligen Ungleichmäßigkeit am Leuchtschirm merkt.

[1]) Vgl. Müller-Pouillet, 10. Aufl, Bd. IV, S. 1026.

Dann schiebt man verschiedene Eisenkerne hinein und schwächt den Strom auf i_2, so daß die gleiche Ablenkung erzeugt wird. $i_1 : i_2$ gibt der Größenordnung nach eine ungefähre Vorstellung von μ bei diesen Verhältnissen.

4. Scheitel- und Effektivwert der Stromstärke. Schickt man Wechselstrom (aus einem Glühlampenkreis), gemessen mit einem Hitzdrahtinstrument (i_{eff}), durch die ablenkende Spule, so entsteht ein leuchtender Fächer. Am Rande desselben merkt man sich eine auffällige Stelle im Schirm. Letztere eicht man hinterher mit Gleichstrom (i_{max}). Es ist dann $i_{max} = i_{eff.} \sqrt{2}$. — Der Versuch ist zuverlässig bei Verwendung kernloser Spulen; da mit Kernen dieselbe Gleichung annähernd erfüllt ist, kann die Hysteresis nicht beträchtlich sein.

5. Wechselstromkurve. Vergl. d. Ztschr. 34, 269, 1921. Abweichungen sind nicht bemerkbar, wohl weil der Punkt zu breit ist.

6. Wechselstromlichtbogen. Strom und Spannung eines Wechselstromlichtbogens werden durch Fig. 4 wiedergegeben, wo zusammengehörige Phasen von i und e in entgegengesetzter Lage dargestellt sind[1]). Hinweise auf einen solchen Verlauf erhält man, wenn man durch die ablenkenden Spulen entweder den Strom der Bogenlampe oder den Strom eines dem Bogen parallel geschalteten Glühlampenwiderstandes schickt, der die Spannungsschwankungen am Bogen qualitativ anzeigt

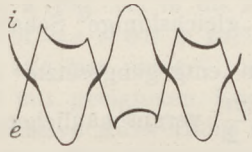

Fig. 4.

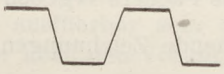
Fig. 5.

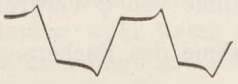
Fig. 6.

(beide Spulen mit möglichst viel Windungen). Im ersten Fall sieht man im rotierenden Spiegel eine Kurve, die dem Augenschein nach kaum von einer einfachen Wellenlinie abweicht; im zweiten Fall ist das Bild bei kleiner Bogenlänge und großer Stromstärke durch Fig. 5 wiedergegeben, für größere Bogenlängen zwischen dünnen Kohlen (von verbrauchten Taschenlampenbatterien) und geringen Stromstärken durch Fig. 6. Der Zündgipfel ist deutlich, aber nicht der Verlöschungsgipfel. Unmittelbar vor dem Erlöschen des Bogens ist die Erscheinung am deutlichsten. Beide Figuren stimmen qualitativ mit den Aufnahmen von Simon überein. — Auch den Strom im Bogen zwischen Kohle und Metall kann man verfolgen. Er brennt aber schwer und nur bei größeren Stromstärken. Schon an dem Fächer auf dem Fluoreszenzschirm erkennt man deutlich, daß der Strom nur in einer Richtung fließt. Im rotierenden Spiegel war mir die gedrückte Wellenlinie auffallend, im Gegensatz zu den Aufnahmen von Simon. (Ist Gleichstrom vorhanden, so dürften sich auch Bogenlampenschwingungen verfolgen lassen.)

7. Phasenverschiebung durch Selbstinduktion. a) Addition der Ablenkungen durch beide Kreise[2]). — Die beiden Spulen (Fig. 1) sind je in einen Glühlampenkreis so geschaltet, daß sich ihre Wirkungen verstärken. Durch Änderung der Spulenabstände vom Rohr kann man die Fächer einzeln gleich machen. Bei gleichzeitiger Wirkung wird der Fächer dann stark verbreitert; kommutiert man den Strom in einer Spule, so entsteht wieder die gerade Bahn. Beides macht man sich leicht klar an den den folgenden Figuren 7 und 8 entsprechenden Zeichnungen. — Dann geht man aus von der Schaltung, durch die beide Ablenkungen sich verstärken, ersetzt einen Widerstand durch eine Selbstinduktion (Primärwicklung eines kleinen Transformators) und macht die einzelnen „Fächer“ wieder gleich. Bei gemeinsamer

[1]) Grimsehl, Lehrbuch, 5. Aufl., S. 424.

[2]) Das Verfahren wie bei Braunschen Röhren ist hier nicht anwendbar, da die Bahn nicht im Raum, sondern nur in einer Ebene verfolgt werden kann.

Wirkung ist der Fächer dann verbreitert, aber nicht so stark wie vorhin. Im idealen Fall bleibt ein Kommutieren eines Stroms in der Spule ohne Einfluß, bei der von mir benutzten Wicklung wird die Fächerbreite etwas geringer, bleibt aber deutlich breiter als der von einer Spule erzeugte. Das Kommutieren bleibt ohne Einfluß, wenn ein Phasenunterschied von $\frac{\pi}{2}$ vorhanden ist. Das ist aus den Figuren 7 a und b ersichtlich; beide Figuren ergeben eine vergrößerte und gleiche Amplitude. Es ist aber nicht ersichtlich, welcher Strom in Phase zurückbleibt oder voraneilt (ebenfalls einfach an Zeichnungen darstellbar). — Im nicht idealen Fall ist aber ein Unterschied in der Fächerbreite beim Kommutieren vorhanden. Derselbe läßt auf einen von $\frac{\pi}{2}$ verschiedenen Phasenunterschied schließen, veranschaulicht durch Fig. 8 a und b. Hier kann man aber entscheiden, ob der Phasenunterschied φ größer oder kleiner als $\frac{\pi}{2}$ ist. An Fig. 8 erkennt man nämlich sehr leicht, daß für „gleichsinnige“ Schaltung Abnahme von φ Vergrößerung des Fächers ergeben muß, für „entgegengesetzte“ aber Abnahme des Fächers. Entsprechende Zeichnungen mit $\varphi > \frac{\pi}{2}$ veranschaulichen die umgekehrte Abhängigkeit. Da die erstere beobachtet wird, ist im nicht idealen Fall $\varphi < \frac{\pi}{2}$. — Die hier durch Konstruktion erläuterten Verhältnisse sind enthalten in den Formeln $\alpha\ [\sin x + \sin (x + \varphi)] = m \sin (x + \psi)$, wo $m = \alpha \sqrt{2\,(1 + \cos \varphi)}$ und $\operatorname{tg} \psi = \frac{\sin \varphi}{1 + \cos \varphi}$[1]).

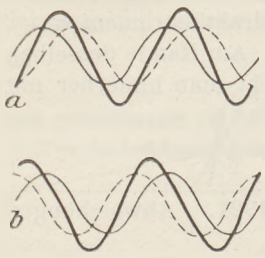

Fig. 7.

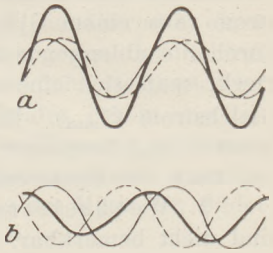

Fig. 8.

b) Stroboskopische Beobachtung des ganzen Fluoreszenzstreifens. Die beiden Spulen Sp_1 und Sp_2 (Fig. 9) wirken entfernt voneinander an verschiedenen Punkten der Bahn, zunächst aus Widerstandskreisen in gleichem Sinn. Dann schickt man etwa durch Sp_1 den Strom der Selbstinduktion L (durch Sp_1 auf jeden Fall den schwächeren Strom). Die ganze Bahn betrachtet man durch eine rotierende Lochscheibe von der Geschwindigkeit, daß die Frequenz der Löcher eben hinter der des Wechselstroms zurückbleibt. Dann sieht man die Bewegung des Streifens stark verlangsamt; er hat nacheinander die Formen 1 bis 9 von Fig. 10. Man erkennt deutlich, daß der untere Teil um ungefähr 90° voraneilt, also die Phase in dem L-Kreis zurückbleibt. Empfehlenswert ist hier der Hilfsmagnet in der Lage M_1. — Die Theorie ist hier ja einfacher, die Beobachtung aber schwieriger als unter α) und höchstens zu zweien möglich, dagegen unter α) als Klassendemonstration. Ich verfüge nur über einen alten elektromagnetischen Rotationsapparat, der sich nur schlecht auf eine bestimmte Tourenzahl einregulieren läßt; ein Elektromotor dürfte erheblich vorteilhafter sein, da man mit ihm wohl gar die wichtigsten Formen festhalten kann.

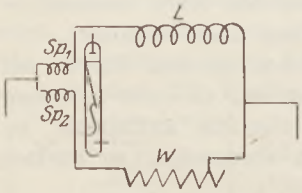

Fig. 9.

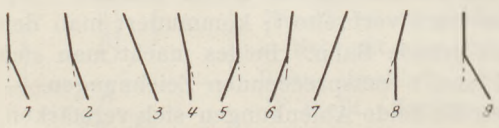

Fig. 10.

[1]) Vergl. Grimsehl, Lehrbuch, 5. Aufl., II. Bd., S. 387.

8. Energievorgänge im Transformator. Der Versuch 7 liefert als Ergebnis, daß beim unbelasteten Transformator Strom und Spannung im primären Kreis um annähernd 90^0 verschoben sind, beim idealen genau. Dadurch ist experimentell die Grundlage gewonnen für den wattlosen Strom des unbelasteten Transformators; denn der Energieverbrauch ist $A = e \cdot i \cdot \cos \varphi$, worin φ die Phasenverschiebung zwischen e nnd i ist; ist $\varphi = 90^0$, so wird $A = 0$.

Wird der Transformator sekundär induktionslos belastet, am einfachsten durch einen änderbaren Widerstand, so sieht man unter dem alleinigen Einfluß des Primärstroms an der Breite des Fächers, daß der Primärstrom mit der Belastung zunimmt. — Untersucht man die Phase wie unter 7a gegen einen Widerstandskreis, so findet man (bei gleichsinniger Schaltung der beiden Spulen), daß die Unterschiede der Fächerbreiten beim Kommutieren des Stromes einer Spule mit der Belastung zunehmen, daß φ also abnimmt. — Durch die Anordnung wie unter 7b findet man (Sp_1 vorteilhaft im Widerstandskreis, damit sich nur der untere Teil des Streifens ändert), daß in dem annähernd still stehenden Streifen die beiden Teile sich in Richtung nach gleicher Phase verschieben, bis sie sich sehr bald im gleichen Sinn bewegen. Wird z. B. der ursprünglich geöffneten Sekundärspule plötzlich stärkerer Strom entnommen, so springt deutlich die Form a (Fig. 11) in die Form b. — Mit wachsender Belastung nimmt dennoch $A = e \cdot i \cdot \cos \varphi$ zu, weil i zunimmt und φ abnimmt. —

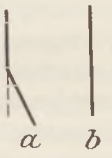

Fig. 11.

Die hier unter 7) und 8) dargestellten Beobachtungen zur Phasendifferenz, die auch mit geeigneten Kapazitäten ausführbar sein dürften, lassen wohl kaum eine quantitative Auswertung zu, haben aber den Vorteil, qualitativ unbedingt zuverlässig zu sein. Es scheint mir nach Theorie und Versuch fraglich, ob das für die einfachen mechanischen Vorrichtungen von Fricke[1]) und Lindemann[2]) sicher zutrifft. Denn für beide entsteht leicht eine Schwierigkeit durch die Phasenverschiebung, die zwischen den beiden resonierenden Systemen (Wechselstrom und Indikator) auftritt und 0 bis 180^0 beträgt[3]). Haben dann etwa Schleifen und Federn bei Fricke und Lindemann nicht gleiche Eigenfrequenz und Dämpfung, so schwingen sie nicht in gleicher Verschiebung gegen den Wechselstrom, und ihre Angaben lassen sich nicht ohne weiteres miteinander vergleichen. — Dies kann man sehr leicht mit dem Apparat von Lindemann darstellen. (Der Apparat ist leicht zu improvisieren.) Leitet man denselben Wechselstrom durch beide hintereinander geschaltete Federn, so gibt es nicht sicher die Diagonale als Lissajous-Figur, sondern im allgemeinen eine Ellipse. Durch Längenänderung der Federn oder Belastung der Schablonenbleche mit Klebwachs kann man ohne erhebliche Änderung der Amplitude sämtliche Figuren erzeugen. Hier läßt sich die Unsicherheit beseitigen, indem man mit beiden Federn in gleicher Richtung aus der stärksten Resonanz herausgeht und mit stärkeren Strömen arbeitet; wegen der geringen Dämpfung ist bald Gleichheit der Phase vorhanden, erkennbar an der entsprechenden Diagonale bei hintereinander geschalteten Federn. (Lindemann empfiehlt dasselbe, weil dann die Figuren ruhiger werden. Auch dies dürfte seinen Grund in den Phasenverhältnissen haben. Die Periode der von ihm benutzten Wechselstrommaschine dürfte nicht ganz konstant sein. Geringe Schwankungen bedingen aber bei fast völliger Übereinstimmung entsprechend der Formel größere Änderungen der Phase als bei größeren Differenzen der Frequenzen.) — Auf Grund des gleichen Gesichtspunktes scheint es gewagt zu sein, die Kurven des Frequenz- und des Wechselstromschreibers von Fricke ohne weiteres miteinander vergleichen zu wollen. Der von Fricke[4]) erwähnte Einfluß des Eisens dürfte unter Umständen stark

[1]) Diese Zeitschrift 28, 11; 1915 und 30, 70; 1917.

[2]) Diese Zeitschrift 26, 23; 1913.

[3]) Theorie z. B. bei Helmholtz, Vorlesungen, III. Band, mathem. Prinzipien der Akustik, S. 44—50; einfache Versuche, diese Zeitschr. 33, 1; 1920.

[4]) Diese Zeitschrift 28, 14; 1915.

durch die hier erörterte Phasenverschiebung überdeckt werden. Daß ein solcher Einfluß vorhanden ist, kann man leicht nachweisen. Man läßt zwei Federn vor je einem Elektromagneten, von Wechselstrom durchflossen, schwingen, die Schwingungsebenen senkrecht zueinander; jede Feder trägt einen kleinen Spiegel. Dann lassen sich durch Längenänderung sehr leicht Lissajous-Figuren aller Phasenunterschiede erzeugen.

9. Strom im Gleichrichter. Am billigsten ist der Versuch, wenn man in den sekundären Stromkreis eines Klingeltransformators eine Grätzsche Zelle und die ablenkende Spule schaltet; dann fehlt eine Phase deutlich. An einer neuen Zelle kann man die allmähliche Abnahme der einen Phase verfolgen. — Im Glimmlichtgleichrichter[1]) fließt der Hauptstrom nur während ungefähr $^1/_5$ der Periode, da immer erst die Zündspannung[2]) erreicht sein muß. Die schwache Stromrichtung ist nur bei Verwendung aller Wicklungen deutlich erkennbar.

10. Beobachtungen am Induktor. a) Primärstrom. Der mir zur Verfügung stehende Induktor (10 cm Schlagweite) hat keinen Hammerunterbrecher. Versuche mit einem eingeschalteten Modell des Hammers geben dürftige Ergebnisse. Ohne Kondensator ist der Abfall nicht so steil als mit Kondensator; die wohl zuerst von Walter beobachteten Schwingungen des Systems Primärspule - Kondensator sind nicht zu finden; die sogenannte „leere“ Zeit ist sehr groß, auch ohne Spiegel schon am Fächer mit seiner intensiven Ruhelinie erkennbar. — Der Deprez-Unterbrecher erzeugt einen Fächer mit schwacher Ruhelinie, also verschwindender leerer Zeit. Im Spiegel (Fig. 12) sieht man deutlich, daß nach der steilen Stromunterbrechung der Anstieg wieder sofort beginnt; wohl aus diesem Grunde machen sich die erwähnten Schwingungen auch hier nicht bemerkbar. Bei abgeschaltetem Kondensator erreicht der Fächer die Ruhelinie überhaupt nicht mehr. Die Analyse zeigt deutlich den schrägen, absteigenden Zweig (Fig. 13); der Strom

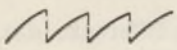

Fig. 12.

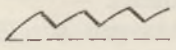

Fig. 13.

Fig. 14.

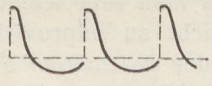

Fig. 15.

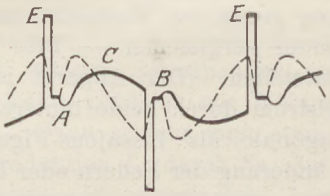

Fig. 16.

ist schon wieder geschlossen, bevor er Null geworden ist. — Fig. 14 gibt die Stromkurve eines Simon-Unterbrechers[3]) beim Betrieb mit Wechselstrom von 220 Volt und 12 Ohm Vorschaltwiderstand wieder. Die Wellenlinie ist unterbrochen; an den den fehlenden Kurvenstücken entsprechenden Punkten der Nullinie sieht man leuchtende Punkte B; die gestrichelten Teile erkennt man nicht. Der Strom wird also während jeder Richtung 2 bis 3 mal, bei schwachen Strömen 1 mal unterbrochen; er steigt im Gegensatz zu den beiden anderen Unterbrechern nach einer sehr kurzen leeren Zeit wieder verhältnismäßig steil an, begründet in der höheren Spannung. Der Abfall ist so steil, daß die Kurve dort abbricht; der Anstieg macht sich durch eine kleine Verzerrung bei C bemerkbar. Kurze leere Zeit und steiler Anstieg bedingen die hohe Unterbrechungszahl. Schaltet man in den Stromkreis einen, wenn auch nur kleinen Elektromagneten mit dickdrähtiger Wicklung als Selbstinduktion

[1]) Volkmann, d. Ztschr. 34, 37; 1921.
[2]) Vergl. d. Ztschr. 35, 165; 1922.
[3]) Hergestellt wie bei A. Lotz, vgl. d. Heft S. 192.

(Eisenkreis geschlossen), so wird der Strom während jeder Richtung nur noch einmal unterbrochen; die Kurvenstücke C sind bedeutend ausgeprägter; zeitweilig ist der aufsteigende Ast ganz sichtbar, wenn auch nur sehr schwach. (Ebenso dürfte sich die Stromkurve des Simon-Unterbrechers beim Betrieb mit Gleichstrom verfolgen lassen, wie auch die des Wehnelt-Unterbrechers für beide Stromarten.)

b) Der Sekundärstrom läßt sich nach dem Vorschlag von Hochheim[1]) verfolgen, wenn man um die Sekundärspule etwa 20 Windungen legt, die an der Naht des Schutzmantels etwa durch ein Stück alten, weiten Gummischlauchs gegen überspringende Funken geschützt sind. Unter Anwendung eines Deprez-Unterbrechers ist der Fächer nach einer Seite stark, nach der anderen Seite wenig auseinander gezogen, entsprechend der Stärke des Öffnungs- und der des Schließungsstroms. Im Drehspiegel erscheint ein Bild wie Fig. 15. Gegenüber der Zeichnung von Hochheim[2]) fehlt das Stück der Nullinie, weil die leere Zeit fehlt. Für die Beobachtung ist das insofern ein Nachteil, als dies Stück den Nachweis und Vergleich beider Ströme gestattet; dafür muß hier die Beobachtung am Fächer ausreichen.

Der Simon-Unterbrecher müßte bei einer Unterbrechung des Primärstroms in jeder Richtung (gestrichelte Kurve, Fig. 16) qualitativ das Bild der ausgezogenen Kurve liefern: die Vorgänge durch die Unterbrechung müssen sich einer Wellenlinie überlagern. — Zunächst wird im Spiegel beobachtet, wenn die ablenkende Spule einen Kern hat. Der Strom kann leicht so stark gewählt werden, daß der Fächer in der beobachteten Gegend mindestens die halbe Schirmbreite einnimmt; bei zu starken Strömen entfernt man die Spulen vom Rohr. Man erkennt dann deutlich (kräftig gezeichnet): die Wellenlinie, die Unterbrechungen A derselben in der Gegend des Durchganges durch die Nullinie, die durch den Schließungsstrom etwas verzerrten Stücke C und die Punkte B auf der Nullinie, entsprechend den Punkten B in Fig. 14. Die Punkte E sieht man nicht. — Zieht man den Kern aus der ablenkenden Spule heraus, so bleibt die Wellenlinie noch schwach angedeutet, läßt wohl noch die Unterbrechungen A, aber nicht mehr die Punkte B erkennen. Außerhalb der Wellenlinie liegen aber oberhalb oder unterhalb der Unterbrechungen leuchtende Punkte E. Alle steilen Kurvenstücke sind demnach wegen der großen Geschwindigkeit beim Durcheilen derselben nicht sichtbar. — Für zwei und mehr Unterbrechungen in jeder Stromrichtung kann man sich die Kurven leicht konstruieren. Die Beobachtung ohne Eisenkern zeigt deutlich die größere Zahl der Punkte E; die Kurve wird aber so unübersichtlich, daß man nur einige charakteristische Formen erkennt (Fig. 16 gibt, streng genommen, die Spannungskurve; die Stromkurve ist davon verschieden; das sieht man deutlich bei hohen Unterbrechungszahlen, bei denen Punkte E ganz nahe den Scheiteln auftreten können). — —

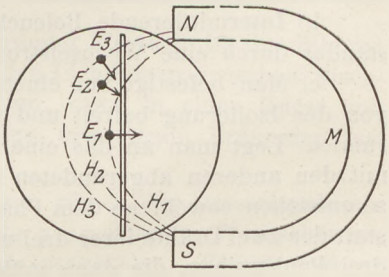

Fig. 17.

Die Versuche lassen sich im allgemeinen nicht quantitativ auswerten; denn bei diesen einfachen Spulen ist das Feld nicht homogen, um so mehr, da sie bei paariger Anordnung wegen des Rohrdurchmessers zu weit auseinander stehen; ferner ergibt die Hysteresis Mängel. Außerdem erzeugt der Magnet M Unregelmäßigkeiten. Figur 17 stelle den Querschnitt durch das Rohr bei M (Fig. 1) dar. H_1, H_2, H_3 seien Kraftlinien von M. E_1 sei das unabgelenkte Elektron, welches nach hinten durch die Ebene fliegt; es erhält eine Ablenkung in Pfeilrichtung, trifft also den Schirm auf der Nullinie. Ist das Elektron ohne M nach E_2 abgelenkt, so wird es unter Mitwirkung von M den Schirm an einer tieferen Stelle treffen, als seiner Ab-

[1]) Diese Zeitschrift 30, 32, 1917.
[2]) Diese Ztschr. 29, 5; 1916; Fig. 5.

lenkung entspricht. In E_3 ist diese Störung noch größer. Dadurch wird die beobachtete Kurve etwas verzerrt, namentlich die Scheitel gedrückter. In der Lage M_1 ist der Einfluß nicht so groß, aber noch bemerkbar. Die wohl vergleichbare Wirkung der koaxialen Spule bei der Braunschen Röhre ist frei von diesem Mangel, da die ablenkenden Spulen hinter ihr liegen. — Soweit diese Versuche einen Drehspiegel erfordern, ist ihre Beobachtung im Unterricht im allgemeinen nur nach Erläuterung der Kurve an der Wandtafel möglich. Die Gewinnung einiger Kurven durch unvorbereitete Beobachtung ist zwar nicht ausgeschlossen, erfordert aber wegen der kurz dauernden Eindrücke sehr viel Zeit. — Die Influenzmaschine polt namentlich bei nicht günstigem Luftzustand leicht um. Häufig kann man dies rückgängig machen, wenn man die Maschine einmal leicht anhaucht oder kurze Zeit entgegengesetzt dreht. Der Fluoreszenzstreifen verschwindet durch Unregelmäßigkeit der Maschine nur selten und fast ebenso selten durch Wandladungen.

Elementare Versuche mit Wechselstrom.

Von **Walter Trautmann** in Potsdam.

Die Zeit liegt noch nicht allzuweit hinter uns, wo ein Physiker, der eine neue Stelle antrat, nicht sonderlich erbaut war, wenn er in seinem neuen Wirkungsort an Stelle des ihm vertrauten Gleichstromes im Ortsnetz Wechselstrom vorfand. Gewiß hat ein Gleichstrom, den man fertig aus dem Ortsnetz beziehen kann, gelegentlich seine großen Vorteile, doch können diese ernstlich nicht mit den Vorzügen verglichen werden, den gerade Wechselstrom, insbesondere der fast allein als solcher in Frage kommende Drehstrom, einem Physiker bietet. Die im folgenden mitgeteilte Zusammenstellung von Versuchen, die der Verfasser sämtlich erprobt hat, soll zeigen, was für eigenartig schöne Wirkungen mit verhältnismäßig sehr einfachen Mitteln hervorgebracht werden können. Dabei sind bekanntere Versuche nur durch Stichworte oder ganz kurz angedeutet. Für alle Versuche wird dreiphasiger Wechselstrom (Drehstrom) von 220 Volt Spannung zwischen den Außenleitern vorausgesetzt.

1. Grundversuche, um den Unterschied zwischen Gleichstrom und Wechselstrom sinnlich wahrnehmbar zu machen.

a) Nachweis der physiologischen Wirkung mittels Handgriffes unter Einschaltung eines Flüssigkeitswiderstandes.

b) Intermittierende Beleuchtung eines in der Luft herumgeschwungenen Gegenstandes durch eine Wechselstromlampe.

c) Man befestigt auf einem Brettchen zwei Starkstromdrähte, deren Enden man von der Isolierung befreit und deren freie Metallenden man mit einer Feile gut abrundet. Legt man an das eine Ende der Drähte die Pole der Lichtleitung und fährt mit den anderen abgerundeten Enden der kleinen Vorrichtung über feuchtes Polpapier, so entstehen sowohl an dem Phasen- wie an dem Nulldraht Punktreihen. Benutzt man statt der zwei Drähte ihrer drei und legt sie an die Außenleiter, so ergeben sich natürlich drei Punktreihen, die dann mühelos auch die Phasenverschiebung erkennen lassen.

2. Impedanz und Ohmscher Widerstand. Der sehr wichtige Unterschied zwischen Impedanz (induktivem Widerstand) und Ohmschem Widerstand fällt in dem Physikunterricht nicht weniger Schulen sozusagen unter den Tisch oder wird nur ganz beiläufig, etwa bei den Teslaversuchen, erwähnt. Für diese Versuche braucht man einen Leiter mit hoher Selbstinduktion in Gestalt einer Drosselspule. Eine solche sollte jede Anstalt besitzen. Wo dies nicht der Fall ist, hält es nicht schwer, sie sich selbst herzustellen. Zu diesem Zwecke wickelt man auf ein Eisenrohr, das — der Kühlung wegen — eher zu weit als zu eng sein sollte, nicht zu wenig gutleitenden

isolierten Draht. Für die folgenden Versuche wurde die Spule des kleinen Apparates nach Elihu Thomson (von Max Kohl) benutzt, den unsere Anstalt zufällig besitzt.

a) Man lege in einen Stromkreis, der abwechselnd mit Gleich- und Wechselstrom gespeist werden kann, hintereinander die Drosselspule und eine Sicherung (eventuell dünnen Bleidraht). Bei Gleichstrom wird die Sicherung sehr bald zerstört werden, während sie einem Wechselstrom von viel höherer Spannung dauernd stand hält.

b) Noch augenfälliger wird der Effekt bei folgender Anordnung. Die Drosselspule kommt wieder in den Stromkreis, parallel mit ihr wird eine gewöhnliche Glühbirne (50 V.) geschaltet. Bei Wechselstrom brennt die Lampe hell, bei Gleichstrom gleicher Spannung bleibt sie gänzlich dunkel.

c) Noch hübscher ist eine kleine Abänderung des letzten Versuches. Man bringt noch vor Lampe und Spule einen Zahnradunterbrecher in den Stromkreis. Zu Beginn des Versuches schickt man in den Stromkreis nur so viel Gleichstrom, daß die Lampe (diesmal nur für wenige Volt) eben zu leuchten beginnt. Dreht man jetzt an dem Unterbrecher, so leuchtet das Lämpchen hell auf, weil der „zerhackte" Gleichstrom sich ebenso verhält wie Wechselstrom und dementsprechend in der Spule einen viel größeren Widerstand findet, als im nichtunterbrochenen Zustande.

3. Die Transformation von Wechselströmen. a) Zur Herabsetzung der Spannung kann man sich eines Abzweigwiderstandes bedienen. Ökonomischer ist beim Wechselstrom die Einschaltung einer Drosselspule, deren Wirkung der Selbstinduktion zu verdanken ist. Man benutzt sie z. B., um eine Lampe von der Leitung aus ohne die Gefahr des Kurzschlusses speisen zu können. Am meisten empfiehlt sich die Anwendung eines Transformators, und zwar ist dazu vorzüglich ein Klingeltransformator geeignet, der auch heute noch ohne große Kosten zu beschaffen sein dürfte. Viel mehr als den Betrieb einer Klingel oder das Leuchten einer kleinen Lampe wird man mit dem niedrig gespannten Wechselstrom nicht anfangen können, doch sei immerhin auf seine gute Verwendbarkeit zur Bestimmung des Widerstandes von Elektrolyten ausdrücklich noch hingewiesen.

b) Zur Hochtransformierung von Wechselströmen kann jedes größere Induktorium benutzt werden. Unterbrecher und Kondensator sind auszuschalten. Schickt man Lichtstrom, der eine Drosselspule oder einen Widerstand durchlaufen haben muß, um den Induktor nicht zu ruinieren, in die Primärspule, so zeigt sich an den Enden der sekundären Spule ein schöner Flammenbogen, mit dem man u. a. geeignete Gegenstände zur Entzündung bringen kann. Führt man die Enden der Sekundärspule an ein Modell eines Hörnerblitzableiters, so kann man dessen Wirkungsweise aufs beste beobachten.

Ein weiterer, mit diesen Mitteln leicht auszuführender Versuch ist die Bildung von NO_2 aus der Luft. Läßt man zu diesem Zweck den Lichtbogen zwischen Eisenelektroden (nicht Kohle) in einem geschlossenen Raum, etwa in einer Kugel mit gegenüberliegenden Tuben, entstehen, so tritt die zu erwartende Bräunung fast unmittelbar ein.

4. Wechselstrom und Kondensator. Besitzen wir in der Drosselspule ein Instrument, das für Gleichstrom durchlässig, aber wenig passierbar für Wechselströme ist, so liegen bei einem Kondensator die Dinge gerade umgekehrt. Bringt man an die Belegungen eines Kondensators (Leidener Flasche) die Enden einer Gleichstromquelle, so nimmt er seiner Fassungskraft entsprechend Ladung an, womit die Sache ihr Bewenden hat. Anders bei Wechselstrom. Bei diesem tritt, seiner Natur entsprechend, ein dauerndes Wechseln zwischen Laden, Entladen, Entgegengesetztladen der einzelnen Belegungen ein, was den Anschein erweckt, als ob der Wechselstrom durch den Kondensator hindurchginge. Da diese Erscheinung nicht nur interessant, sondern vor allem technisch von großer Bedeutung ist, so lohnt es sich, auf sie ausführlicher einzugehen.

a) Da die Kapazität einer Leidener Flasche nur sehr gering ist, so ist der Effekt auch nur ein entsprechend unbedeutender. Man legt die Enden zweier Außenleiter (220 V.) an die Belegungen der Flasche, doch so, daß zwischen der einen Belegung und der Stromquelle ein Telephon geschaltet wird. Nähert man dieses dem Ohr, so ist das Fließen des Stromes deutlich wahrnehmbar. Ein lautsprechendes Telephon gestattete den Effekt auch einem größeren Beobachterkreise wahrnehmbar zu machen.

b) Bedeutend schöner wird der Effekt, wenn man nicht den gewöhnlichen Netzstrom an die Flasche legt, sondern diesen erst durch einen Transformator hocharbeitet. In diesem Falle gelingt es, Glühlampen gewöhnlicher Art zum Leuchten zu bringen.

c) Man kann auch durch Vergrößern der Kapazität des Kondensators dafür sorgen, daß die Ladeströme die erforderliche Stärke erhalten. Dies gelingt in der Tat auch leicht, wenn man die Leidener Flasche durch einen Blätterkondensator von ca. 2 M.F. ersetzt. Eine Lampe von 10 Kerzen und 110 Volt, an derselben Stelle eingeschaltet wie vorher das Telephon, brennt mit vollem Glanze. Ein verblüffender Versuch, bei dem man unwillkürlich Kurzschluß im Kondensator vermutet. Daß dies jedoch nicht der Grund für die Erscheinung ist, beweist man damit, daß man ohne Zwischenschaltung der Lampe die Phasenenden an die Belegungen bringt. Hätte der Kondensator Schluß, so müßte er in diesem Falle rettungslos verschmoren.

5. Stromgleichrichtung. Wir sehen von dem leistungsfähigsten, aber kostspieligen Quecksilbergleichrichter ab, auch auf die Verwendung der Glimmlichtlampe [1]) sei nur hingewiesen. Wir begnügen uns mit dem für Schüler am leichtesten zu verstehenden elektrolytischen Gleichrichter. Ein Aluminiumstreifen bildet die eine, ein Kohle- oder Eisenstab die andere Elektrode. Als Elektrolyt verwendet man nach Graetz Natriumbikarbonat oder borsaures Ammonium, von denen das erstere wegen seiner Billigkeit für Schulversuche den Vorzug verdient. Natriumbikarbonat ist ein besserer Leiter als borsaures Ammonium, hat aber den Nachteil, daß es durch den Gebrauch infolge der Abspaltung von CO_2 allmählich in Natronlauge übergeht und somit auf die Dauer in seiner Wirkung unzuverlässig wird. Das borsaure Ammonium (durch Neutralisation von Borsäure mit Ammoniak zu erhalten) dagegen spaltet beim Stromdurchgang NH_3 und H ab und läßt den wirksamsten Bestandteil, die Borsäure, in der Lösung zurück, so daß, wenn von Anfang an ein (unschädlicher) Überschuß von Ammoniak in der Lösung vorhanden ist, eine Dauerbelastung des Gleichrichters die Leistung desselben fürs erste nicht vermindert. Da aber Borsäure heutzutage teuer ist und Dauerbeanspruchungen des Gleichrichters nicht notwendig in Frage kommen, so genügt im allgemeinen Natriumbikarbonat als Elektrolyt vollkommen. Näheres bei Graetz. Um zu zeigen, daß eine solche elektrolytische Zelle tatsächlich nur (pulsierenden) Gleichstrom durchläßt, bedient man sich am besten eines Hofmannschen Apparates für Schwefelsäurezersetzung.

6. Die Schaltungsarten des Drehstroms. Man benutzt zu deren Vorführung Lampen, die mit Porzellansockeln auf Brettchen montiert und mit Anschlußklammern ausgerüstet sind. Die Lampen müssen der Außenleiterspannung — hier 220 Volt — entsprechen. Legt man eine solche Lampe zwischen eine Phase und die Erde (Gasleitung), so brennt sie nur mit halber Leuchtkraft (Schaltung Phase-Null). Legt man sie jedoch zwischen zwei Phasen, so leuchtet sie mit voller Stärke (Außenleiterschaltung).

Für die Dreiecksschaltung stellt man drei Fußklemmen in Form eines gleichseitigen Dreiecks und führt an diese die drei Phasendrähte; drei Lampen, die man zwischen die Klemmen schaltet, brennen mit voller Stärke. Um die Sternschaltung zu erläutern, bildet man ein Dreieck aus den Lampen. Die Phasenenden werden an die eine der Klemmschrauben am Lampensockel befestigt, während von der anderen je ein blanker Draht nach der Mitte des Dreiecks geführt wird, wo sie, am

[1]) Vgl. L. Bergmann, d. Zeitschr. 35, 168 (1922).

besten frei in der Luft schwebend, in Berührung gebracht werden. Auch jetzt brennen die Lampen, aber, wie sofort erkennbar, nur mit halber Spannung. Dieser letzte Versuch ist deswegen besonders lehrreich, weil er zeigt, daß die drei Phasen sich jederzeit zum unelektrischen Zustand neutralisieren, so daß den Schülern verständlich wird, weshalb als Nulleiter der Lichtanlagen ein unisolierter Draht dienen kann und daß gegebenenfalls selbst auf diesen verzichtet werden darf.

7. Das Drehfeld. Zur Demonstration desselben eignen sich wohl alle im Handel befindlichen dafür konstruierten Apparate. Wer einen solchen nicht zur Verfügung hat, kann sich das erforderliche Material leicht selbst herstellen. Das Wichtigste ist ein größerer Eisenring von 12—15 cm Durchmesser, der nach Angaben eines Handbuches zu bewickeln ist. In der Mitte des Ringes wird eine Nadel angebracht, auf die man die Gegenstände, die man in Drehung bringen will, aufsetzen kann. In Frage kommen für diesen Zweck Metallscheiben oder Sterne, vielleicht auch ein kleiner Kurzschlußanker, d. h. ein Eisenring mit einer in sich geschlossenen Bewickelung. Während man bei diesen Versuchen nicht mit Mißerfolgen zu rechnen braucht, bietet der eigentlich wichtigste hierher gehörige Versuch, die Demonstration des synchronen Laufes einer Magnetnadel wegen der hohen üblichen Wechselzahl einige Schwierigkeit, da es nicht leicht ist, dieser erstmalig die erforderliche hohe Geschwindigkeit mitzuteilen. In allen Fällen darf natürlich nicht der Netzstrom unmittelbar an den Ring gebracht werden, sondern muß zuvor durch Lampen (100 K.) oder Widerstände geschwächt werden.

8. Will man dem ganzen Kapitel noch einen besonders wirksamen Abschluß geben, so sei zu diesem Zwecke, falls man über den nötigen Zubehör verfügt, die Vorführung der singenden Bogenlampe empfohlen. Die Anordnungen von Graetz können auch hierbei zum Vorbild genommen werden.

Ein Apparat zur Erläuterung der Entstehung von Ebbe und Flut.

Von **Richard Schumann** in Heide (Holstein).

Die in unseren Schulbüchern übliche Erklärung der Entstehung von Ebbe und Flut ist unbefriedigend, weil sie nur die Gravitation und die Bewegung von Erde und Mond um den Erdmittelpunkt berücksichtigt, aber die entscheidende Bewegung beider um den gemeinsamen Massenschwerpunkt außer acht läßt; die Apparate, die auf Grund dieser Erklärung erbaut worden sind, um die Flutbildung zu veranschaulichen, vermögen ihre Aufgabe deshalb auch nicht zu erfüllen. Die tatsächlichen Gezeitenerscheinungen auf der Erde sind ein ungeheuer verwickeltes System dynamischer Probleme, an dessen Entwirrung noch immer gearbeitet wird. Aber die kosmischen flutbildenden Kräfte erklärt bereits die Newton-Bernoullische Theorie[1]) befriedigend. Sie bietet allerdings dem Verständnis erhebliche Schwierigkeiten und hat in die meisten Schulbüchern noch keinen Eingang gefunden. Einen Weg, wie man das Flutproblem richtig und doch allgemeinverständlich darstellen kann, hat George Howard Darwin gewiesen in dem Buche: Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem, deutsch von Agnes Pockels, 2. Auflage, Leipzig. B. G. Teubner 1911 (Wissenschaft und Hypothese Bd. 5). Das dort angegebene Verfahren rührt von G. M. Davis, Professor an der Harvard-Universität her.

Die Grundlage der Erklärung bilden die Kräfte auf der Erde, die der Mondanziehung entgegenwirken; es sind dies die Fliehkräfte, die aus der Bewegung der Erde um den Schwerpunkt des Massensystems Erde-Mond (Punkt S in Figur 1) entstehen.

[1]) J. Newton: Philosophiae naturalis principia mathematica. Daniel Bernoulli in: Pièces qui ont remporté le prix proposé par l'académie française en 1740. IV.

Diese Bewegung, bei der zur Vereinfachung zunächst von der täglichen Achsendrehung der Erde abgesehen werden soll, und zugleich die dabei auftretenden Fliehkräfte lassen sich nun mit dem folgenden Apparat (Fig. 2) veranschaulichen.

Um eine senkrechte Hauptachse H dreht sich ein zweiarmiger Horizontalbalken, auf dessen einem Ende in 12 cm Entfernung von H, ebenfalls um eine senkrechte Achse drehbar, ein Holzklotz E steht. Auf vier von dem Holzklotz schräg aufragenden Drahtstützen ruht ein Drahtring von 16 cm Radius, der mit einem Achsenkreuz versehen ist. In der Mitte des Kreuzes hängt eine Kugel, und an dem Ringe hängen acht weitere Kugeln an weißen Fäden. Sie sollen Massenteilchen im Mittelpunkte und auf einem Großkreise der Erde darstellen. Auf dem andern Balkenarm steht ein Gegenwicht, das den Mond andeutet. Durch einen Fadenabzug an der Unterseite kann der Balken in Drehung um die Hauptachse H versetzt werden. Der auf die Hauptachse gesteckte, in der Ebene des Kugelkranzes auf $^3/_4$ des Erdradius stehende Messingknopf S stellt den Schwerpunkt des Massensystems Erde-Mond dar. Der Holzklotz ist durch einen einfachen Schnurlauf mit der durchragenden Hauptachse derart verbunden, daß er sich stets im Gegensinne zum Balken dreht, infolge dessen das Drahtgestell mit dem Kugelkranz bei allen Bewegungen des Apparates eine unveränderte Lage gegen die Himmelsrichtungen beibehält, ebenso wie Mond und Erde, abgesehen von ihrer Eigendrehung, bei der Bewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt.

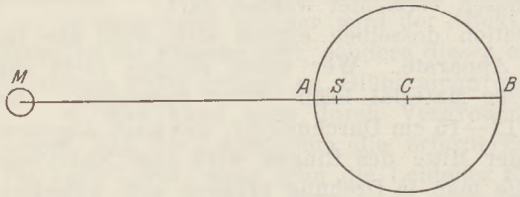

Fig. 1.

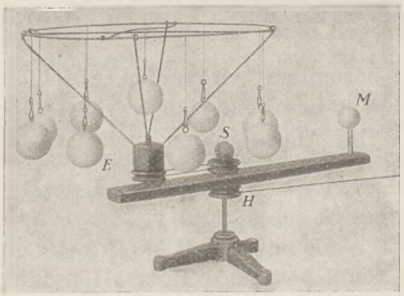

Fig. 2.

In langsamer Drehung zeigt man zunächst die Art der Bewegung des Großkreises um den Schwerpunkt, die der Bewegung des Führungsringes einer exzentrischen Scheibe entspricht. Dann nimmt man die Hülse mit dem Messingknopfe S von der Hauptachse ab, da die Kugeln bei schnellerer Drehung dagegen schlagen, und setzt den Balken durch Abziehen eines Fadens in langsam und gleichmäßig zunehmende Rotation. Die dabei entstehenden Fliehkräfte werden deutlich sichtbar, die Kugeln werden sämtlich nach der gleichen Seite, stets vom Monde fort, abgelenkt, und alle mit der gleichen Stärke, wie die Parallelität der Aufhängefäden beweist. Auch die in der Mittelachse oder an beliebigen Stellen des Drahtgestells aufgehängte Kugel bewegt sich den andern genau gleich, wodurch zur Anschauung kommt, daß bei dieser eigentümlichen Bewegung sämtliche Punkte der Erdmasse gleich gerichteten, gleich starken und stets vom Monde fortweisenden Fliehkräften unterliegen.

Diese Feststellung ist der Angelpunkt der ganzen Erklärung, und wenn der Schüler dies richtig in sich aufgenommen hat, kann er dem weiteren Gedankengange der Newton-Bernoullischen Erklärung leicht folgen. Aus der Abnahme der Anziehungskraft des Mondes mit der Entfernung folgt, daß er auf die ihm zugekehrte Seite der Erde die stärkste, auf ihren Mittelpunkt eine mittlere und auf die abgewandte Seite die schwächste Anziehung ausübt. Diejenige, die er auf den Mittelpunkt der Erde ausübt, muß nun der dort wirkenden Fliehkraft genau die Wage halten, wenn die Erde in ihrer Bahn bleiben soll. Da die Fliehkräfte aber an allen Punkten der Erde gleich stark, einander parallel und vom Monde fortgerichtet sind, so leuchtet ein, daß auf der Mondseite die Anziehung, auf der Gegenseite aber die Fliehkraft überwiegen und so auf beiden Seiten ein Flutberg in den nachgebenden Wassermassen auftreten muß.

Die Achsendrehung der Erde hat auf diese Verhältnisse keinen andern Einfluß mehr als den, daß die beiden Flutberge ihren Umlauf um die Erde nicht erst während eines Monats, sondern schon während eines Mondtages vollenden.

Dem Leser wird die Ähnlichkeit der letzten Gedanken mit der üblichen Erklärung auffallen. In der Tat scheint die ältere Erklärung nichts anderes zu sein, als der verstümmelte zweite Teil der Newton-Bernoullischen, der aber ohne den Hinweis auf die Bewegung der Erde um den Schwerpunkt S zu ganz falschen Vorstellungen führen muß. Nehmen wir nämlich an, wie in der älteren Erklärung stillschweigend geschieht, die Erde stünde im Mittelpunkte der Mondbahn ohne eigene Bewegung innerhalb des Massensystems Erde-Mond, dann könnte von einem „Fallen der Erde gegen den Mond" nicht mehr die Rede sein, die Mondanziehung nicht als Zentripetalbeschleunigung bezeichnet und von einem Trägheitswiderstande der Erde gegen diese Beschleunigung nicht mehr gesprochen werden. Dann könnte nur eine Flut auf der Mondseite der Erde erscheinen; denn nur hier wirkt die Mondanziehung der Erdanziehung entgegen, auf der anderen Seite wirkte sie zwar schwächer, aber in derselben Richtung wie die Erdschwere, müßte also hier das Gewicht der Wassermassen verstärken und nur Ebbe, nicht Flut erzeugen. Dazu kommt, daß die Mondanziehung bei Vernachlässigung der entgegenwirkenden Fliehkräfte einen ungeheuren Wert annehmen müßte. Darwin berechnet die Höhe, die die Flut bei dieser Anschauung erreichen müßte, auf sechs Erdradien. Nach der Newton-Bernoullischen Erklärung kommen dagegen nur kleine Kräftedifferenzen in Frage, welche an den Stellen, wo der Mond im Zenith und Nadir steht, der Erdschwere direkt entgegengesetzt gerichtet sind. Es bleibt also kein Zweifel daran, daß die übliche Theorie nicht haltbar ist und durch die Newton-Bernoullische ersetzt werden muß.

Nachwort des Herausgebers. Der von Herrn Richard Schumann beschriebene Apparat stützt sich auf die von H. M. Davis herrührende Erklärung der Ebbe- und Fluterscheinung, die bisher bei uns wenig Beachtung gefunden zu haben scheint[1]). Es dürfte daher geboten sein, darauf noch etwas näher einzugehen, als es durch den Verfasser geschehen ist.

Die Davissche Erklärung geht davon aus, daß sich Erde und Mond um den gemeinsamen Massenmittelpunkt bewegen. Da die Massen der beiden Himmelskörper sich wie 80 : 1 verhalten, so ist dieser Punkt um $\frac{1}{81}$ des Abstandes Erde-Mond, d. h. um $^{60}/_{81}$ oder rund $^{3}/_{4}$ des Erdradius vom Erdmittelpunkt entfernt, liegt also noch innerhalb des Erdkörpers (S in Fig. I). Die Bewegung der beiden Himmelskörper geht in der Weise vor sich, daß jeder von ihnen während des Umlaufs seine Orientierung im Weltraum beibehielte, wenn nicht noch Rotationen hinzuträten. Von diesen werde aber vor der Hand abgesehen.

Der Umlauf um den Massenmittelpunkt bringt nun nach der Davisschen Theorie Fliehkräfte mit sich, von denen man allerdings im Fall der „freien" Zentralbewegung nur in uneigentlichem Sinne reden darf, und die man als zentrifugale Komponenten des Trägheitswiderstandes bezeichnen kann. Diese Fliehkräfte sind an allen Stellen der Erde parallel der Verbindungslinie beider Himmelskörper vom Massenmittelpunkt fort gerichtet und einander gleich. Dies folgt daraus, daß alle Punkte des Erdkörpers bei diesem Umlauf (der keine Rotation ist), kongruente Kreise beschreiben. Dasselbe gilt für den Umlauf des Ringes am Apparat von Schumann, und hierin liegt die Analogie beider Vorgänge. Am festen Erdkörper wird den Zentrifugalkräften durch die am Erdmittelpunkt angreifende Anziehungskraft des Mondes das Gleichgewicht gehalten. Dagegen wirkt dieselbe Anziehungskraft an den verschiedenen Stellen des Weltmeeres mit verschiedener Stärke, je nachdem sie dem Monde näher oder von ihm entfernter als der Erdmittelpunkt liegen. Anziehung des Mondes und Fliehkraft sind also im allgemeinen nicht genau gleich groß und auch

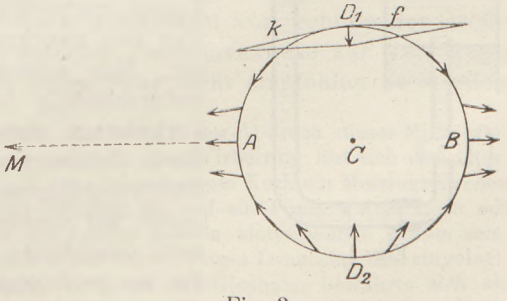

Fig. 3.

[1]) Berücksichtigt ist sie von E. Grimsehl in seinem Lehrbuch der Physik, Bd. I, § 97.

nicht durchweg entgegengesetzt gerichtet. Sie setzen sich daher an jeder Stelle des Weltmeeres zu einer Resultierenden (wie in Fig. 3 bei D_1 angedeutet) zusammen. Die Resultierenden, in Fig. 3 durch Pfeile angedeutet, haben verschiedene Richtungen; nur an der dem Monde nächsten Stelle (A) ist die Resultierende genau gegen den Mond hin, an der entferntesten Stelle (B) ist sie vom Monde fort gerichtet. Diese beiden Kräfte sind, wie eine einfache Rechnung zeigt, einander fast genau gleich und der dritten Potenz des Abstandes Erde-Mond umgekehrt proportional. Denkt man die anderen Resultierenden in je zwei Komponenten normal und tangential zur Erdoberfläche zerlegt, so ergibt sich, daß sie teils die Größe der Erdanziehung an der betreffenden Stelle ändern, zum andern Teil aber auf die Wassermassen beschleunigend gegen die Punkte A und B hin wirken, wodurch erst die Wucht der Gezeitenbewegung begreiflich und anschaulich wird. Wie sich dann diese Wasseransammlung infolge der Erddrehung in eine periodisch um die Erde herum fortschreitende Bewegung umsetzt, ist aus der älteren Theorie bekannt.

Der Unterschied der DAVISschen Erklärung von der älteren ist mehr formaler Art. Bei der letzteren mußte die Differenz der Anziehungskräfte, die auf den Erdkörper und die auf die Wassermassen wirken, in Rechnung gestellt werden; bei der DAVISschen Erklärung sind statt der Anziehungskraft des Mondes auf den Erdkörper (der Zentripetalbeschleunigung) die Fliehkräfte eingeführt und es ist statt einer Subtraktion eine Addition auszuführen, die sich leicht graphisch veranschaulichen läßt.

Der Apparat von SCHUMANN stellt allerdings nur den einen Teil der Erklärung, das Auftreten der Fliehkräfte, in sinnlich anschaulicher Weise dar und überläßt das Weitere der ergänzenden Erörterung des Lehrers. Er hat aber zweifellos das Verdienst, die Aufmerksamkeit wieder auf die beachtenswerte Erklärung von DAVIS hingelenkt zu haben.

Kleine Mitteilungen.

Ein Apparat zur Erzeugung von Wirbelringen in Wasser.

Von Dr. **Alfred Jlgner** in Berlin.

Im Jahrgang 35, 130 (1922) gibt Dr. P. WERNER eine Methode zur Erzeugung von Wirbelringen in Wasser an. Er erzeugt die Ringe, indem er eine ruhende Wasseroberfläche von Tropfen gefärbten Wassers durchschlagen läßt.

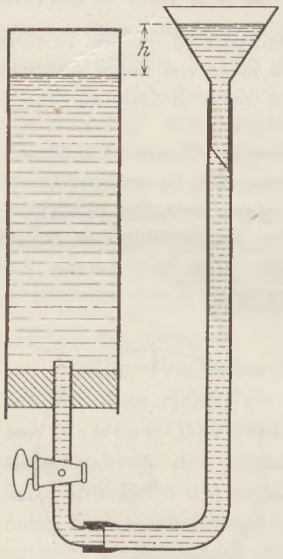

Fig. 1.

Nach meinen Erfahrungen kommt man zu besseren Ergebnissen, wenn man die Versuchsanordnung umkehrt, und die erregende Flüssigkeit von unten her in das Standgefäß eintreten läßt. Der dazu nötige Apparat, den man sich ohne Mühe selbst herstellen kann, ist in Fig. 1 schematisch angegeben. Will man auf das Projizieren des Versuchs verzichten, dient als Standgefäß der Zylinder einer Gaslampe, in den ein durchbohrter Kork eingesetzt und nach Durchführung eines Hahnrohrs — falls nötig — noch verkittet wird. Für die Projektion muß der Kasten rechteckig sein. Einen solchen stellt man sich zweckmäßig nicht aus Glaswänden her. Man schneidet die Seitenwände, die ja undurchsichtig bleiben können, aus dünnen Korkplatten (Suberitplatten), den Boden aus einem dicken runden Korken, kittet sie an den Berührungskanten mit Harz zusammen, und befestigt auf diesem Rahmen auf dieselbe Weise zwei Glasplatten als Vorder- und Rückwand, die so groß geschnitten werden, daß sie — außen am Kopf — die Korkwände um einige Millimeter überragen. Den so erhaltenen Kasten bindet man am Kopf- und Fußende mit einem starken Faden ab,

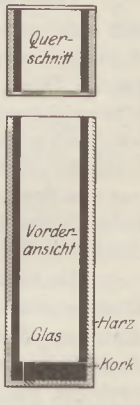

Fig. 2.

um die Kittung nicht unnötig großem (Wasser-)Druck auszusetzen, der das Gefäß zersprengen könnte, und gießt die außen zwischen den Plattenrändern entstandenen Hohlräume ebenfalls aus (Fig. 2). [Wenn man die Korkplatten vor dem Zusammensetzen auch innen überzieht, ist daß Gefäß säurefest, und kann auch für viele andere Zwecke die teuren Leyboldkästen gut ersetzen.] Auf das Hahnrohr wird ein Schlauch gezogen, der am anderen Ende einen Trichter aufnimmt. Trichter und Standgefäß werden (einzeln!) in Bunsenstativen befestigt.

Fig. 3.

Zum Gebrauch wird das Standgefäß mit klarem, der Trichter mit gefärbtem Wasser (Eosinlösung) gefüllt. Durch ganz langsames Öffnen des Hahnes läßt man dieses bis genau zum Ende des Rohres steigen, nachdem die Luft verdrängt ist, und schließt den Hahn wieder, ehe Farbstoff in das ruhende Wasser tritt. Um jetzt einen Wirbelring zu erzeugen, dreht man den Hahn ohne abzusetzen und ohne das Gefäß zu erschüttern mit mäßiger Geschwindigkeit einmal um 180^0 herum. Dabei wird durch den Druck der Wassersäule h (Fig. 1) eine ganz kleine Wassermenge (ungefähr soviel, wie sich in der Bohrung des Hahnes aufhält) in die ruhende Flüssigkeit gebracht, wird durch den Widerstand, den sie findet, an der Spitze auseinander getrieben und erhält dadurch Pilzgestalt. Der Pilz steigt aufwärts, der Hut rollt sich weiter ein und zieht dabei den Stiel nach, und nach wenigen cm Weges ist ein Wirbelring entstanden. Wenn die Lösung nicht zu dunkel gefärbt ist, kann man im Projektionsbild ganz deutlich das Aufrollen verfolgen und sieht noch in dem fertigen Ring die Schichtung, die sich an den Seiten durch Spiralen kundgibt (Fig. 3, oben). Mit der anfangs zitierten Versuchsanordnung ist das nicht so gut zu erzielen. Dazu lassen sich hier die Versuchsbedingungen in weitestgehendem Maße variieren; der Druck durch Verstellen des Trichters, die erzeugende Wassermenge (die dort durch die Tropfengröße gegeben und annähernd konstant ist), durch schnelleres oder langsameres Drehen des Hahns. Die günstigsten Bedingungen sind durch Ausproben schnell zu finden. Am besten gelingt der Versuch bei kleinem h (4—5 cm)[1]).

Über die Hohlspiegelbilder bei plankonvexen Linsen.

Von C. Hoffmann in Ravensburg.

Lichtstrahlen, die gegen einen Punkt hinter einem sphärischen Hohlspiegel konvergieren, vereinigen sich nach der Reflexion bekanntlich in einem reellen Bildpunkt vor dem Hohlspiegel innerhalb der Brennweite. Man kann daher solche reelle Spiegelbilder von Gegenständen mit Hilfe einer dazwischen gestellten Sammellinse erhalten, was für den Unterricht voraussetzt, daß diese Linse schon behandelt wurde, und außerdem etwas umständlich ist (vgl. Weinhold, Phys. Demonstrationen, 5. Aufl., Leipzig 1913, S. 403). Man hat aber Gelegenheit, solche reellen Bilder gleichsam als sekundäre Bilder zu beobachten, wenn man einen Hohlspiegel von genügender Größe in der Form einer an der gewölbten Seite belegten Plankonvexlinse zur Verfügung hat. Die Anschaffung eines solchen Spiegels pflegt zwar nicht empfohlen zu werden

[1]) Zusatz von Dr. W. Volkmann. Die Gelegenheit, den Versuch vor Abdruck dieser Mitteilung nachzumachen, hat mich auf eine kleine Verbesserung geführt. Der Wirbelring löst sich vom Glasrohr nicht immer rundherum gleichzeitig ab. Deshalb habe ich mit einem Kork ein Messingröhrchen von 1,5 cm Höhe und Weite aufgesetzt, dessen obere Öffnung bis auf ein 4 mm weites Loch mit einem dünnen Blech verschlossen war. Die Ränder des Loches müssen einigermaßen sauber sein, zur Vorsicht habe ich in das Messingrohr noch ein Stückchen engmaschiges Drahtnetz lose eingelegt. Die Wirbelringe bildeten sich nun in größter Schönheit aus und der Glashahn bewährte sich als ein sicheres Mittel zur vollkommenen Beherrschung des lehrreichen Versuches, der die geringe Mühe aufs reichste durch die Schönheit der Erscheinung belohnt.

(vgl. Volkmann, Anleitung zu den wichtigsten phys. Schulvers., Berlin 1912, S. 156 oder Rosenberg, Experimentierbuch f. d. Unterr. in der Naturl., 1. Bd., 4. Aufl., Wien und Leipzig 1919, S. 388), wo er aber schon vorhanden ist„ kann er zu den im folgenden beschriebenen ebenso interessanten wie belehrenden Beobachtungen dienen. Der von mir verwendete Spiegel hatte einen Durchmesser von rund 25 cm und eine Brennweite von etwa 32 cm, die wegen der Aufmachung des Spiegels als Toilettespiegel sich nur ungefähr bestimmen ließ, indem in einer Entfernung von 60 bis 65 cm von der ebenen Vorderfläche Gegenstand und reelles Bild etwa in dieselbe Entfernung fielen. Als Gegenstand diente eine helle Glühlampe, die gegen den Beschauer abgeblendet war.

Steht die Glühlampe in größerer Entfernung vom Spiegel, so sieht man im Spiegel sehr deutlich das virtuelle, verhältnismäßig lichtschwache Bild, das von der ebenen Vorderfläche erzeugt wird, und zugleich vor dem Spiegel das reelle, umgekehrte, verkleinerte Bild, erzeugt durch die rückwärtige Hohlspiegelfläche. Seitliche Bewegung des Kopfes läßt sofort die verschiedene Bewegung der beiden Bilder erkennen. Bei genauem Hinsehen erkennt man aber noch zwei weitere reelle Bilder in derselben Stellung wie das erste, näher gegen den Spiegel und um so kleiner und lichtschwächer, je näher sie am Spiegel liegen. Mittels eines auf den Spiegel aufgesetzten Maßstabes kann man nach einiger Übung ungefähr die Abstände dieser Bilder vom Spiegel messen, während sie zum Auffangen auf einem Schirm zu lichtschwach sind. Diese Bilder werden größer und lichtstärker, wenn man mit der Lampe zwischen die einfache und doppelte Brennweite herangeht, so daß sie nicht mehr von dem hellen ersten (dem gewöhnlichen Hohlspiegelbild) überstrahlt werden. Alsdann lassen sich diese Bilder, besonders das erste davon, auch auf einem passenden Schirm auffangen. Wenn sich die Lampe etwa in der Brennebene des Spiegels befand, so rückte das erste sekundäre Bild ungefähr in dieselbe Entfernung, das zweite befand sich in einem Abstand von etwa 12 cm vom Spiegel, ziemlich groß und lichtstark. Rückte die Lampe zwischen Scheitel und Brennebene, so waren gleichzeitig zu sehen: das virtuelle Bild im Planspiegel, das virtuelle vergrößerte Bild im Hohlspiegel, ein vergrößertes reelles Bild in beträchtlicher Entfernung und zwei verkleinerte reelle Bilder innerhalb der Brennweite. Die Entstehung der Bilder erklärt sich ohne Schwierigkeit aus den mehrfachen Reflexionen, die zwischen den spiegelnden Flächen auftreten.

Es sei bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen, daß man das reelle Hohlspiegelbild dazu benutzen kann, um den Unterschied zwischen objektiver und subjektiver Größe klar zu machen. Steht die Lampe in der Nähe des Krümmungsmittelpunkts, so ist das (erste) reelle Bild nach der Berechnung, also objektiv, etwa von derselben Größe, betrachtet man es aber aus der Nähe, so hebt es sich in starker Vergrößerung vom Spiegel ab, erweckt also bei oberflächlicher Beobachtung den Eindruck eines vergrößerten Bildes. Bei dieser Beobachtung ist aber Vorsicht anzuraten, da man das Bild des glühenden Lampenfadens nahe vor den Augen hat, bei seinem Aufsuchen auch wohl direkt ins Auge bekommt, wodurch starke Blendung eintreten kann. Da man zugleich das mit dem Gegenstand objektiv gleichgroße Bild im Planspiegel sieht, kann man hier mit Erfolg auch darauf hinweisen, daß solche Bilder stets mehr oder weniger kleiner erscheinen als der Gegenstand und so den Einfluß des Sehwinkels bei optischen Größenbeurteilungen anschaulich erläutern.

E. Grimsehls Fokusmesser.

Von **Bruno Kolbe** in Jewe (Estland).

In seinen „Ausgewählten physikalischen Schülerübungen“ hat Grimsehl einen Apparat zur raschen Bestimmung der Hauptbrennweite von Linsen und Hohlspiegeln mit Hilfe eines Planspiegels beschrieben. Das Verfahren gründet sich darauf, daß

die vom Brennpunkt einer Konvexlinse ausgehenden Lichtstrahlen durch die Linse parallel gemacht, von dem hinter ihr aufgestellten Planspiegel reflektiert und an der Stelle des Brennpunktes wieder vereinigt werden. Benutzt man mit Grimsehl als leuchtenden Gegenstand eine von hinten beleuchtete Millimeterteilung, so muß deren scharfes Bild auf dem die Teilung tragenden Papierschirm scharf und in derselben Größe erscheinen, wie die Teilung selbst, wenn diese sich genau im Brennpunkt befindet. Die Vorrichtung wird längs der schmalen Kante eines Meterlineals, das als optische Bank dient, aufgestellt. Der Apparat scheint bisher nicht die Beachtung gefunden zu haben, die er verdient; ich gebe deshalb hier eine Beschreibung der etwas abgeänderten Form, die sich mir als besonders brauchbar bewährt hat. Grimsehl hat dem Apparat keinen besonderen Namen gegeben; ich schlage ihm zu Ehren den Namen „Grimsehls Fokusmesser" vor. Als Lichtquelle benutze ich ein „Diaphragma" von der Form eines liegenden F (weiß auf schwarzem Grunde), in das mit Tusche einige Kreuze eingemalt sind, die die Einstellung bedeutend erleichtern. Beleuchtet wird das in der Höhe verstellbare Diaphragma von der Rückseite durch eine in ein Blechgehäuse (9 cm × 12 cm × 18 cm) eingeschlossene Metallfadenglühlampe von 25 Kerzen. Fig. 1 zeigt im unteren Teil das als Gegenstand dienende F, im oberen auf hellem Grunde das gleich große umgekehrte Bild; als Untersatz dient eine Holzschiene von 120 cm Länge, die mit einer cm-Teilung versehen ist (vergl. Fig. 2). Der obere Teil, die Leitschiene für den Schlitten, kann mit dem unteren Teil aus einem Stück herausgehobelt oder nachträglich aufgeleimt und verschraubt sein. Die Schiene besteht aus drei Stücken (I von 120 cm, II und III von je 80 cm Länge. Für den Fokusmesser genügt die Schiene I; zur Herstellung einer optischen Bank werden alle drei zusammengeschoben und durch je zwei Zapfen verbunden. Das Blechgehäuse ist auf einem besonderen Schlitten (B in Fig. 2) angebracht und dieser unverrückbar mit zwei Zapfen so auf

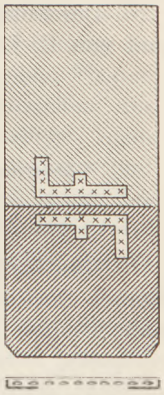

Fig. 1.

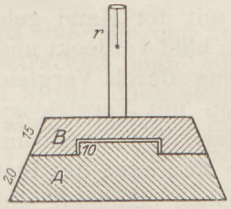

Fig. 2.

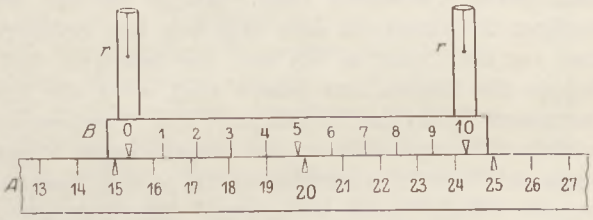

Fig. 3.

der Schiene befestigt, daß ein unter der Vorderfläche des Diaphragmas angebrachter Index genau über den Nullpunkt der cm-Teilung zu stehen kommt. Der Schlitten trägt an seiner äußeren Endfläche zwei geschlitzte Messingröhrchen, die als Steckkontakte für die Leitungsschnur dienen und in gutem Kontakt mit dem aufgeschraubten Edisongewinde der Glühlampe stehen. Die Linse und der Spiegel befinden sich auf einem zweiten Schlitten, dem Noniusschlitten (Fig. 3) von 10 cm Länge, der in 9 cm Abstand zwei Messingröhrchen *r* für die Linse und den Spiegel trägt: Der letztere ist mittels Scharnier um eine horizontale Achse drehbar und überdies in seinem Röhrchen drehbar und in vertikaler Richtung verschiebbar. Für den Gebrauch als optische Bank sind noch mehrere kurze Schlitten entsprechender Bauart erforderlich. Eine Marke an jedem der Schlitten ermöglicht eine genaue Ablesung.

Um den Vorzug des Verfahrens vor Augen zu führen, empfiehlt es sich, die Bestimmung der Brennweite zuerst auf der (um 2 × 80 cm verlängerten) optischen

Bank nach der gewöhnlichen Methode mit Hilfe von Gegenstandsweite (a) und Bildweite (b) anzustellen, indem man $a + b = 100$ cm oder 200 cm $> 2f$ wählt. Läßt man ein- oder zweimal das Einstellen und Berechnen ausführen und benutzt dann den Grimsehlschen Fokusmesser, so ist die Überlegenheit dieser Methode unverkennbar.

Das Grimsehlsche Verfahren kann auch dazu dienen, die Brennweite von Konkavlinsen zu bestimmen (vgl. Grimsehl a. a. O. Übung 14, doch muß das Zimmer verdunkelt sein). Auch läßt sich die Hohlseite einer Konkavlinse als (natürlich lichtschwacher) Hohlspiegel verwenden, man erhält in diesem Falle direkt $\varrho = 2f$, ohne den Planspiegel zu benötigen.

Der Fokusmesser in der beschriebenen Form wird von Max Kohl A.G. in Chemnitz und von E. Leybolds Nachf. in Köln a. Rh. hergestellt.

Demonstration von Interferenzen an dünnen Blättchen durch das Taschenspektroskop.

Von **S. Janß** in Uetersen (Holstein).

Man wirft Licht mit Hilfe eines dünnen Blättchens (Glimmer, Zelluloid, Gelatine, dünnes Deckgläschen) auf den Spalt des Taschenspektroskops und sieht deutlich mehr oder weniger zahlreiche Linien. — Die Schüler brauchen die Plätze nicht einmal zu verlassen, wenn man nach Wrede[1]) geeignete dünne Blättchen so in Stativklemmen befestigt, daß sie nach der Klasse hin zylindrisch geformt sind, und das Licht so darauf fallen läßt, daß man auf allen Plätzen infolge der Reflexion eine Lichtlinie sieht. Nach dieser sieht jeder Schüler durch das Prisma des Taschenspektroskops, ohne Spaltrohr und Linse. Diese Anordnung hat noch den Vorteil, daß Dickenunterschiede im Glimmerblättchen sich durch eine deutliche Verschiebung der Streifen bemerkbar machen, während bei der ersten Anordnung dann die Erscheinungen addiert werden.

Um diese Linien im durchgehenden Licht zu demonstrieren, befestigt man das Blättchen durch Klebwachs oder Plastilin an der Schutzkappe vor dem Spalt des vollständigen Spektroskops oder läßt von den Schülern das mit der Hand gehaltene Blättchen vor dem Spalt so hin und her bewegen, daß es ihn bald verdeckt und bald freigibt; da die Minima nur relativ sind, wird die Erscheinung durch Vergleich mit dem normalen Spektrum deutlicher. Ein Taschenspektroskop mit Vergleichsprisma und seitlichem Spiegel erlaubt den unmittelbaren Vergleich des reinen Spektrums und desjenigen mit Interferenzstreifen durch je eine Spalthälfte. — Man kann das Blättchen auch an der Okularblende befestigen. Eine Bewegung desselben empfiehlt sich hier wohl kaum, da diejenigen Interferenzen stören, die bei teilweisem Verdecken der Okularblende von der violetten Seite her auftreten (Talbotsche Streifen).

Die Erscheinungen der chromatischen Polarisation in Gips- und Glimmerpräparaten kann man mittels des unmittelbar hinter dem Analysator auch des einfachsten Polarisationsapparates befestigten Taschenspektroskops bei mäßig intensivem Licht analysieren. Zeigt das Präparat einige Streifen, dann kann man namentlich bei Anwendung von Sonnenlicht durch ihre Lage zu Fraunhoferschen Linien leicht feststellen, daß die Maxima bei der einen Stellung des Analysators Minima in der dazu senkrechten sind. Ein Glasplattensatz wirkt nicht so vorteilhaft wie Spiegelung, da die Polarisation nicht so vollständig ist.

[1]) Müller-Pfaundler, 10. Aufl., II. Bd., S. 966.

Versuche zur künstlichen Doppelbrechung von Glas.

Von **K. Gentil** in Elberfeld.

In einer früheren Veröffentlichung[1]) habe ich eine kurze Zusammenstellung von Versuchen gegeben, die sich auf die durch mechanische, elektrische und magnetische Kräfte künstlich hervorgerufene Doppelbrechung und Drehung der Polarisationsebene von festen und flüssigen optischen Medien beziehen. Der vorliegende Aufsatz befaßt sich etwas eingehender mit Versuchsanordnungen, die zum Nachweis der durch mechanische Kräfte künstlich hervorgerufenen Doppelbrechung von Glas dienen.

FRESNEL[2]) zeigte (1819), daß Glas durch Komprimieren doppelbrechend wird. Vor ihm beobachtete BREWSTER[3]) die künstlich hervorgerufene Doppelbrechung an eingetrocknetem Wachs. Man bringt eine Glaspresse, wie sie von zahlreichen Firmen hergestellt wird, zwischen 2 gekreuzte Nicols und beobachtet beim Anziehen der Schraube das Gesichtsfeld. Das von einer Lichtquelle kommende natürliche Licht geht durch den Polarisator, das Glasstück und den Analysator. Sind Polarisator und Analysator gekreuzt, so erscheint dem Beobachter das Gesichtsfeld dunkel, wenn das Glas gut gekühlt und spannungsfrei ist. Das Gesichtsfeld hellt sich teilweise auf, wenn durch Anziehen der Schraube ein kräftiger Druck ausgeübt wird. Die Größe des zu den Versuchen benutzten Glasstückes ist $9{,}0 \times 3{,}0 \times 0{,}6$ cm.

Etwas schwieriger gestaltet sich der Nachweis der durch Zug hervorgerufenen Doppelbrechung von Glas. Es muß darauf geachtet werden, daß sich der Zug auf einen kleinen Raum verteilt. Man benutzt das Glasstück des vorhergehenden Versuches und bringt 2 Durchbohrungen im Abstand von etwa 1,7 cm an, durch die man die Zugkräfte auf den axialen Teil des Glases wirken läßt. Bei größerem Abstand der Durchbohrungen (etwa 5—6 cm) war selbst bei einem Zug von 30—40 kg keine Doppelbrechung zu beobachten.

Am schönsten zeigt man die künstliche Doppelbrechung von Glas mit der folgenden Versuchsanordnung von FILON[4]) und KÖNIG[5]) durch Biegung einer Glasplatte. Die Figur 1 veranschaulicht eine einfache Biegepresse, wie sie z. B. von der Firma Ed. Liesegang hergestellt wird. Ein 12 cm langer Glasstab ($12 \times 1{,}0 \times 0{,}8$ cm) wird durch Druckwirkung an den Stellen *ab* und *cd* einer Biegung unterworfen, die künstliche Doppelbrechung hervorruft. Betrachtet man einen solchen gebogenen Glasstab zwischen gekreuzten Nicols, dann sieht man bei geeigneter Lage des Stabes ein System von parallelen farbigen Interferenzstreifen, für die die Phasendifferenzen λ, 2λ, 3λ .... betragen und die sich an einen mittleren schwarzen Streifen nach beiden Seiten anschließen (Fig. 3). Es ist klar, daß bei einem gebogenen Glasstab zwei Arten von Kräften auftreten, im oberen Teile Zug (Fig. 2), in der unteren Hälfte Druck. Etwa in der Mitte des Stabes liegt eine Schicht, die weder Zug noch Druck erleidet und somit nicht doppelbrechend wird. Dies erklärt das Vorhandensein des schwarzen Streifens bei gekreuzten Nicols. Statt der Biegepresse, die den Nachteil hat, daß der ausge-

Fig. 1.

Fig. 2.

[1]) Versuche über die durch mechanische, elektrische und magnetische Kräfte künstlich hervorgerufene Doppelbrechung und Drehung der Polarisationsebene von festen und flüssigen optischen Medien. Monatshefte für den naturwissenschaftlichen Unterricht aller Schulgattungen. XI. Bd. 1918. Heft 5/6. S. 151.

[2]) Über die Doppelbrechung des zusammengedrückten Glases. Ann. d. Ph. u. Ch. Bd. 19. 1830.

[3]) Über die Erzeugung einer regelmäßigen Doppelbrechung in Körperteilchen durch bloßen Druck, nebst Betrachtungen über den Ursprung des doppeltbrechenden Gefüges. Ann. d. Ph. u. Ch. Bd. 19. 1830.

[4]) Über die Änderung der künstlichen Doppelbrechung in Glas mit der Wellenlänge. Camb. Proc. 11. 1902. S. 478.

[5]) Doppelbrechung in Glasplatten bei statischer Biegung. Ann. d. Ph. u. Ch. 4. Folge. 11. 1903.

übte Druck nicht kontrolliert werden kann, verwendet man mit Vorteil die durch Fig. 4 dargestellte Versuchsanordnung. *a b c d* sind dreikantige Holzstücke, *G* die Glasplatte der vorhergehenden Versuchsanordnung. H_1 und H_2 sind 2 Holzplatten. Die obere Holzplatte beschwert man mit einem Gewicht *Q*. Verwendet man bei diesem Versuch monochromatisches Licht, etwa Natriumlicht statt des weißen Lichtes, dann zeigen sich auf dem einfarbigen Gesichtsfeld schwarze Interferenzstreifen Der Abstand dieser schwarzen Interferenzstreifen ist für die verschiedenen Farben des weißen Lichtes verschieden groß, wie folgende einfache Abänderung der Versuchsanordnung beweist. Zerlegt man das durch Polarisator, Glasplatte und Analysator

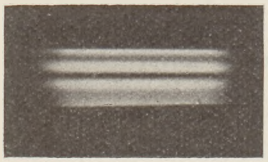

Fig 3.

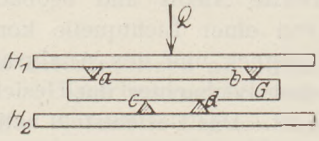

Fig. 4.

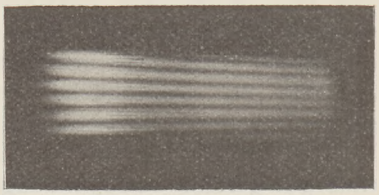

Fig. 5.

hindurchgegangene weiße Licht mit Hilfe eines Spektralapparates in seine Farben, dann sieht man im Spektrum eine Anzahl schwarzer Interferenzstreifen, die nach dem violetten Teil des Spektrums zusammenlaufen. Der konvergierende Verlauf der Interferenzstreifen vom roten Teil des Spektrums nach dem Violett zu beweist, daß die Doppelbrechung abhängig von der Wellenlänge ist. Die Figur 5, eine Reproduktion nach einer photographischen Aufnahme, zeigt dies deutlich. Das Fadenkreuz des Okulars ist auf die *F*-Linie eingestellt. Ein Okularmikrometer dient zur Messung des Streifenabstandes. Die Anzahl der Streifen ist von der Größe des Gewichts *Q* abhängig. Die Figur zeigt die Streifen 0., 1., 2. und 3. Ordnung.

Die Johnsen-Rahbek-Anordnung als galvanisches Element.

Von **Friedrich Laube** in Tetschen a. E. (Böhmen).

Die im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift auf Seite 255 unter 1. angeführten Versuche mit dem Johnsen-Rahbek-Kondensator gelingen besonders gut, wenn man den Stein am Tage zuvor eine halbe Stunde unter Wasser bringt. Dies legt den Gedanken nahe, daß dem Wasser als Elektrolyten beim Zustandekommen der auftretenden Spannungen eine entscheidende Rolle zukommt. In der Tat bildet die Zusammenstellung Zinkplatte — lithographischer Stein — Kupfer (Fig. 1) ein galvanisches Element, dessen Strom sich, wenn der Stein ganz frisch befeuchtet worden ist, mit einem Spiegel-Galvanometer von hoher Empfindlichkeit sehr gut nachweisen läßt. Das Element, das an die Zusammenstellung Zink-Zunge-Kupfer erinnert, hat folgende merkwürdige Eigenschaften:

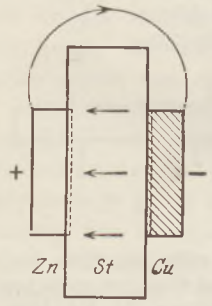

Fig. 1.

1. Der innere Widerstand, das ist der Widerstand des Steines, ist sehr groß und wechselt stark mit der Feuchtigkeit des Steines (10^{-6} bis 10^{-8} Ohm). Wenn der Stein einige Stunden getrocknet ist, so daß der Klebeversuch und die Kondensatorversuche sehr gut gelingen, dann läßt der Stein, wenn man ihn an die Lichtleitung von 150 Volt anlegt, einen mit dem Spiegel-Galvanometer gut erkennbaren Strom von etwa 10^{-6} Ampère durch; derselbe Stein aber, mit Zink- und Kupferplatte ein Element bildend, gibt, einer Spannung von 1 Volt entsprechend, einen 150mal schwächeren Strom, den das Galvanometer schon nicht mehr anzeigt. Unser Element wird also

wegen seines hohen inneren Widerstandes stets nur sehr schwache, kaum nachweisbare Ströme liefern.

2. Da aber der Elektrolyt des Elementes mit einer Elektrode einen Kondensator bildet, so gelingt es viel leichter die statische Ladung als den Strom nachzuweisen, indem wir die Zinkplatte aus dem Kreise ausschalten, abheben und an das Elektroskop bringen. Die Zusammenstellung Zinkplatte-Stein-Kupfer ist demnach ein galvanisches Element und ein zerlegbarer Kondensator zugleich; jenes ladet diesen auf, dieser zeigt jenes Ladung an.

3. Warum erweist sich aber die Zinkplatte unseres Elementes stets positiv geladen, während sie sich sonst bei jedem anderen Elemente (Seite 256, Fig. 7) negativ erweist? Die Anordnung in Fig. 1 ist Element und Kondensator zugleich. Die Elektronen wandern in der Richtung der Pfeile vom Elektrolyten zum Zink, stauen sich vor der trennenden Luftschicht im Stein (durch die Punkte angedeutet), während in der Zinkplatte selbst aus Mangel an Elektronen positive Ladung auftreten muß. In Fig. 2, wo wir die Ladung eines gewöhnlichen Elementes nachweisen wollen, liegen am Stein zwei gleiche, sagen wir Zinkplatten, so daß die Anordnung Zink-Stein-Zink nur Kondensatordienste zu versehen hat. Die Elektronen wandern natürlich im selben Sinne aus der Flüssigkeit in die Zinkplatte des Elementes, von der in die Zinkplatte des Kondensators, wo nun wieder eine Stauung gegen die Luftschicht eintritt; diesmal aber ist der Überschuß an Elektronen in der Zinkplatte, wodurch sie sich nach dem Abheben als negativ geladen erweist. Sollte nicht diese Betrachtungsweise alle jene Erscheinungen erklären, bei denen man am Zink positive Ladungen beobachtet?

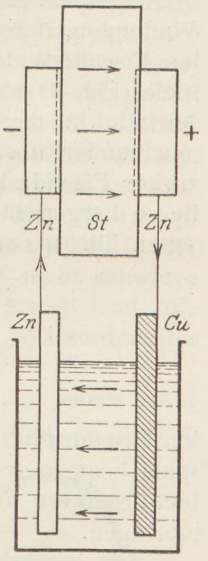

Fig. 2.

4. Der überraschende Versuch (a. a. O. S. 256, Fig. 6), bei dem der Kondensator nicht imstande war, die Ladung eines Elementes nachzuweisen, erklärt sich nun sehr leicht. Im ersten Falle arbeiteten die beiden Elemente Zink-Wasser-Kupfer und Zink-Stein-Kupfer gegeneinander, so daß kein den Kondensator aufladender Strom auftreten konnte, im zweiten Falle waren sie hintereinandergeschaltet, wodurch sich die Spannung auf das doppelte erhöhte.

Zwei neue Versuche mit der Thomsonspule.

Von **Dr. Ludwig Bergmann** in Gießen.

Mit der allgemein bekannten Induktionsspule nach ELIHU THOMSON[1]) läßt sich bei Benutzung von Wechselstrom in bequemer Weise dessen Transformation auf niedrige Spannungen zeigen. In den meisten Fällen geschieht dies so, daß man über den Eisenkern der Spule einen Aluminiumring schiebt, der beim Schließen des primären Wechselstromes durch die in ihm auftretenden kurzgeschlossenen Induktionsströme in die Höhe geschleudert wird. Hält man den Ring über dem Eisenkern mit Gewalt fest, so erwärmt er sich durch die in ihm fließenden sehr starken Wechselströme in kurzer Zeit sehr kräftig. Berechnet man die in einem solchen geschlossenen Ring fließenden Induktionsströme[2]), so kommt man auf Stromstärken bis zu 1000 Amp. und darüber, falls in der Primärspule nur Ströme von etwa 10 Amp. fließen. Diese hohen Stromstärken in dem kurzgeschlossenen Metallring etwa direkt durch Meßinstrumente

[1]) E. T. Z. 1890. S. 254, 1891. S. 707. Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik. IV. 2, S. 887.

[2]) Ich verweise auf die Ausführung einer solchen Berechnung in Lampa, Wechselstromversuche, Bd. 42 der „Wissenschaft", Braunschweig: F. Vieweg u. Sohn.

nachzuweisen, ist nicht möglich, da durch Einschalten irgendwelcher Instrumente der Ohmsche Widerstand des Stromkreises stark erhöht und dadurch die Stromstärke wesentlich heruntergedrückt wird. Die im folgenden beschriebenen Versuche dürften es dagegen gestatten, das Fließen dieser starken Induktionsströme einem größeren Auditorium bequem nachzuweisen.

Aus starkem Kupferdraht von mindestens 6 mm Durchmesser oder Aluminiumdraht von mindestens 8 mm Durchmesser wickele man eine Spule von etwa 4—5 Windungen, deren innerer Durchmesser so groß ist, daß sich die Spule bequem über den Eisenkern der Thomsonspule schieben läßt. Die Enden der so hergestellten Spule (Fig. 1) werden an zwei kräftige Klemmschrauben gelötet oder besser noch mit Gewinde in dieselben verschraubt. Die Klemmschrauben sollen etwa 20—30 mm voneinander abstehen. In die Durchbohrungen der Klemmen wird ein 3—4 mm starker Eisendraht eingesetzt, der also die Spulenenden kurzschließt. Schiebt man die so hergerichtete Spule über den Eisenkern der durch Wechselstrom kräftig erregten Thomsonspule, so bringen die in der Spule entstehenden Induktionsströme

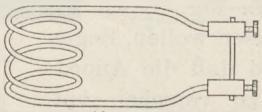

Fig. 1.

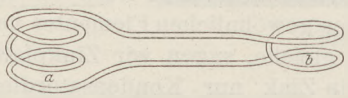

Fig. 2.

den Eisendraht zum hellen Glühen und schmelzen ihn sogar meistens durch. Um die Spule bequem trotz der auftretenden Erwärmung und der abstoßenden Wirkung über dem Eisenkern halten zu können, empfiehlt es sich, einen Holzgriff an der Spule anzubringen.

Die beschriebene Anordnung ermöglicht es ferner, die Wechselspannung an den Enden der Spule zu messen. Man verbindet zu diesem Zweck die beiden Spulenklammern einfach mit einem empfindlichen Wechselstromvoltmeter. Nachfolgend gebe ich einige erhaltene Daten an:

Primäre Thomsonspule:	Sekundäre Spule:
Eisenkerndurchmesser: 35 mm	Durchmesser: 50 mm
Anzahl der Windungen: 400	Anzahl der Windungen: 4
Primäre Stromstärke: 10 Amp. bei 220 Volt und 50 Perioden.	Drahtstärke: 6 mm
	Widerstand: 0,00039 Ohm
	Spannung an den Enden: 1,25 Volt.

Eisendraht von 3,5 mm Stärke und 25 mm Länge wurde nach 15 Sek. weißglühend und schmolz nach 40 Sek. durch.

Die in einer solchen Spule von wenigen Windungen eines starken Drahtes erzeugten kräftigen Induktionsströme lassen sich auch dazu benutzen, ein Magnetfeld zu erzeugen. Dies geschieht anschaulich etwa in der Weise (Fig. 2), daß man aus starkem Kupferdraht eine Spule *a* von etwa 3 Windungen wickelt mit einem Durchmesser, daß sich die Spule bequem über den Eisenkern der Thomsonspule schieben läßt. Die Enden der Spule führt man parallel zueinander etwa 20 cm weit weg und bildet wieder eine Spule *b* von 2—3 Windungen. Die freien Enden dieser so erhaltenen Drahtschleife werden gut miteinander verlötet, am besten, indem man eine kurze Metallhülse als Verbindungsstück vorher über die freien Enden schiebt.

Hält man die eine Spule (etwa *a*) über den Eisenkern der mit Wechselstrom beschickten Thomsonspule, so wird durch die in der Drahtschleife erzeugten starken Induktionsströme in der Spule *b* ein Wechselstrommagnetfeld erzeugt, das stark genug ist, um einen Eisenkern von beträchtlichem Gewicht schwebend in der Spule zu halten. Auch dieser Versuch gibt so einen anschaulichen Nachweis der in dem Draht erzeugten kräftigen Wechselströme.

Physikalisches Institut der Universität.

Eine methodische Bemerkung zur Berücksichtigung der Dampftension beim Ablesen der Volumina feuchter Gase.

Von Prof. S. Genelin in Krems a. D., N.-Oe.

In unseren Chemielehrbüchern fand ich die Notwendigkeit des Abziehens der Dampftension des Wassers vom Barometerstande noch nie eingehender begründet; und doch scheint mir die Sache für den Schüler nicht so leicht verständlich zu sein. Hat der Schüler das Volumen eines in einer Meßröhre über Wasser abgesperrten Gases abgelesen, so muß er sich gegenwärtig halten, daß er in dieser Röhre eigentlich ein Gasgemisch, nämlich Gas und Wasserdampf hat; daß er aber trotzdem unter gewissen Bedingungen das abgelesene Volumen als das Volumen des Gases selbst betrachten kann, wird ihm Schwierigkeiten bereiten. Ein Beispiel möge die Berechtigung dieser meiner Vermutung erhärten: Der Schüler habe in einer Röhre 50 ccm über Wasser abgesperrten Sauerstoff vor sich; würde er nicht gänzlich verwirrt werden, wenn man ihm sagen würde, daß in dieser Röhre 50 ccm Wasserdampf sich befinden unter einem Drucke $b—p$, wenn b den Barometerstand und p den Druck, den der Sauerstoff ausübt, bezeichnet? Und doch ist das prinzipiell nicht schwerer zu verstehen als die Mitteilung, daß in der Röhre 50 ccm reiner Sauerstoff sind, die sich unter einem Drucke $b—t$ befinden, wobei t die Tension des Wasserdampfes bedeuten möge.

Ich habe nun versucht, durch ein Experiment, welches sich infolge seines mehr qualitativen Charakters sehr leicht ausführen läßt, die Sache verständlicher zu machen und benütze hierbei das von Grimsehl in dieser Zeitschr. XVII S. 223 vorgeschlagene Zerschlagen einer mit Wasser gefüllten Glaskugel im abgesperrten Luftraume. Während aber Grimsehl die, die gefüllte Glaskugel enthaltende, Flasche mit einem Manometer verbindet, verbinde ich dieselbe mit einem Schenkel eines beiderseits offenen mit Abflußhahn versehenen U-Rohres (Fig. 1). Als Flasche eignet sich der Flaschenteil einer schlanken Drechselschen Waschflasche; in einer solchen wird nämlich der Boden nach dem Zerschlagen der Kugel deutlich mit Wasser bedeckt werden, der geschliffene, nicht allzuweite, Hals verbürgt außerdem ein sicheres Dichten des einzusetzenden Kautschukpfropfens. Um möglichst viel Wasser verwenden zu können, möchte ich übrigens lieber die Herstellung einer Glaswalze empfehlen, welche überdies den Vorteil bietet, daß sie durch den Flaschenhals besser hindurchgeht. In einer Glasröhre (Fig. 2), welche bei a nur wenig, bei c aber zu einer in der Mitte geschlossenen Kapillare verengt wurde, bläst man den Teil b zu einer solchen Walze auf. (Wenn man beide Enden, wie Grimsehl empfiehlt, kapillar auszieht, ist das Aufblasen viel schwerer.) Nach Vollendung der Walze wird auch bei a eine Kapillare ausgezogen und dann bei den kapillaren Enden abgeschnitten. Die Walze wird jetzt in ein mit Wasser gefülltes Becherglas eingetaucht und durch Saugen an der herausragenden Kapillare gefüllt; hierauf werden die Kapillaren mit der Stichflamme zugeschmolzen.

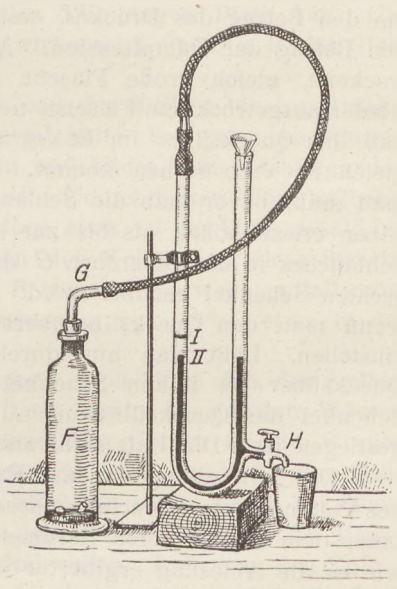

Fig. 1.

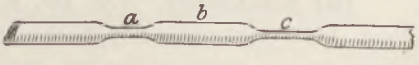

Fig. 2.

Die so gefüllte Glaswalze läßt man vorsichtig in die Flasche F gleiten, verschließt gut mit dem Pfropfen und verbindet die Glasröhre G durch einen guten

Schlauch mit dem linken Schenkel des zur Hälfte mit Quecksilber gefüllten U-Rohres. Durch Ablassen von Quecksilber aus dem Hahn H überzeugt man sich, ob der Apparat dichtet; durch Zugießen von Quecksilber stellt man dann dasselbe wieder in beiden Schenkeln gleich hoch ein. Der Quecksilberstand des linken Schenkels wird mit einer Marke I (Rebenstorffsches Isolierband!) versehen. Wird jetzt durch Schütteln der Flasche F die Glaswalze zertrümmert, so steigt das Quecksilber im rechten Schenkel; hat man durch Zugießen von Quecksilber wieder genau auf Marke I eingestellt, so beträgt der Höhenunterschied ca. 6—7 mm. (Bei mäßiger Zimmertemperatur entspricht das etwa der halben Dampftension des Wassers in guter Übereinstimmung mit dem Brauche, bei bloß kurzer Berührungsdauer von Gas und Wasser nur die halbe Dampftension abzuziehen.) Nun läßt man Quecksilber so lange aus dem Hahn H ausfließen, bis dasselbe in beiden Schenkeln wieder gleich hoch zu stehen kommt. Der Schüler sieht, daß das Gemisch von Luft und Wasserdampf, welches wieder unter dem Drucke des Barometerstandes steht, jetzt ein größeres Volumen einnimmt; diese Volumszunahme wird wieder markiert. Da während des Versuches nichts in die Flasche gekommen ist, was etwa Luft hätte verdrängen können — die Wassermasse war ja schon zu Beginn desselben in der Flasche — kann die Vergrößerung des Volumens nur eine Folge der Mitwirkung des Druckes der verdampften Wassermoleküle sein. Der Schüler wird jetzt aber auch einsehen können, daß die trockene Luft allein ein so großes Volumen nur dann einnehmen könnte, wenn der Druck des Barometerstandes entsprechend kleiner wäre, und zwar um den Betrag des Druckes, welchen die Wassermoleküle ausgeübt haben, also um den Betrag der Dampftension. Auch das läßt sich zeigen, wenn man eine andere trockene, gleich große Flasche (oder in der nächsten Stunde dieselbe inzwischen wieder ausgetrocknete Flasche) neuerdings mit dem U-Rohr verbindet und dafür sorgt, daß das Quecksilber im linken Schenkel bis zur Marke I und im rechten wieder gleich hoch zu stehen kommt. Mit einiger Übung läßt sich das leicht erreichen; man muß, bevor man die Schlauchverbindung mit der Flasche herstellt, das Quecksilber etwas höher als bis zur I. Marke eingießen, da durch das Einschieben des Schlauches in die Glasröhre G die Luft etwas komprimiert und das Quecksilber im rechten Schenkel gehoben wird. Durch Ablassen von Quecksilber kann man dann, wenn man den Quecksilberüberschuß richtig eingeschätzt hat, genau auf Marke I einstellen. Läßt man nun durch den Hahn soviel Quecksilber abfließen, daß das Quecksilber im linken Schenkel bis auf die Marke II sinkt, so wird im rechten Schenkel das Quecksilber um so viel niedriger stehen, als es beim ersten Versuch gestiegen ist. Die Luft steht also jetzt unter dem Drucke $b—t$.

Die Anwendung der am Experiment gemachten Erwägungen auf das Ablesen des Volumens eines feuchten Gases ergibt sich dann von selbst: Das Gas allein könnte unter dem herrschenden Barometerstande nicht ein so großes Volumen v einnehmen, wie es die Ablesung ergibt; wohl aber nimmt bei dem Drucke $b—t$ die abgesperrte Gasmasse einen Raum von v ccm ein.

Für die Praxis.

Der Stechheber. Von **Dr. E. Boehm** in Hamburg. Im elementaren Unterricht bietet das Verständnis der Wirkungsweise eines so einfachen Apparates wie des Stechhebers immer Schwierigkeiten, weil der Unterdruck in dem geschlossenem Ende des Hebers nicht deutlich in Erscheinung tritt. Um dem zu begegnen, habe ich an das zu schließende obere Ende einer etwa 50 cm langen und 1 cm weiten Pipette ein seitliches Ansatzrohr angeblasen und dieses mittels eines Schlauches mit einem einfachen Quecksilber- oder Wassermanometer verbunden. An diesem lassen sich beim Gebrauche des Hebers alle Druckunterschiede deutlich erkennen und ablesen.

Ein Pendelversuch. Von **O. Küper** in Görlitz. Die Abhängigkeit der Schwingungszeit von der Beschleunigung läßt sich am Fadenpendel leicht nachweisen, wenn man, wie die Figur zeigt, den Pendelkörper an zwei Fäden aufhängt, deren Aufhängungsösen A und B in verschiedener Höhe liegen. Die Schwingungsebene liegt alsdann senkrecht zur Verbindungsgeraden AB und die Pendellänge ist gleich dem Lote, das vom Pendelkörper auf AB gefällt wird. Die Beschleunigung reduziert sich bei dieser Anordnung auf $g \cdot \cos \alpha$, wenn α der Winkel ist, unter dem AB gegen die Horizontale geneigt ist.

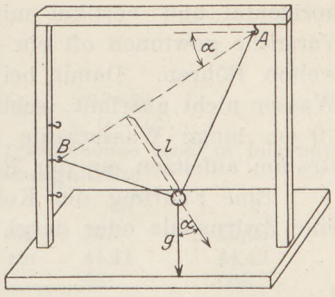

Fig. 1.

Eine wohlfeile „Luftpumpe". Von **Arnold Deutscher** in Wien. Eine Glasröhre von ungefähr 60 cm Länge und 10—15 mm Weite, aber möglichst gleichem Kaliber. wird einseitig zugeschmolzen. Man fertigt am Ende eines Messingstabes von etwa 50 cm Länge und 0,5 cm Dicke einen gut passenden Kolben, indem man zwei Messingscheibchen vom Durchmesser des Röhrenkalibers im Abstande von 1—2 cm auflötet und den Zwischenraum durch strammes Aufwickeln eines genau ebenso breiten Papierstreifens, etwa Telegraphenpapiers, ausfüllt, jedoch nur so weit, daß noch eine Lage guter Strickwolle in eng anliegenden Windungen Platz hat. Gut durchfeuchtet und geölt gibt dies Verfahren tadellos wirkende Kolben, z. B. für Glasmodelle von Pumpen.

Nun wird das Glasrohr halb mit Wasser gefüllt und der Kolben hineingedrückt, wobei man das Glasrohr immer ziehend, nie stauchend hält. Bei guter Ausführung tritt das Wasser nur sehr langsam über den Kolben und bildet beim nachfolgenden Pumpen einen guten Verschluß für die vorhandenen Undichtheiten des Kolbens. Unter dem Kolben seien etwa 20 cm, über dem Kolben etwa 10 cm Wassersäule, so daß der Kolbenhub etwa 30 cm beträgt. Zieht man den Kolben um diese Strecke heraus, so bildet sich unter ihm ein „Vakuum" im Betrage der jeweils entfallenden Spannung des Wasserdampfes, also bei Zimmertemperatur von 18° C etwa in der Größe von 15 mm Quecksilber.

Bevor man zu den eigentlichen Versuchen schreitet, empfiehlt es sich, den Kolben längere Zeit zu betätigen, damit er entluftet wird. Diese, sowie die aus dem Wasser, Holz usw. stammenden Luftmengen sammeln sich unter dem Kolben an, sie werden durch drückendes Drehen des Kolbens oberhalb gebracht und durch Klopfen ganz entfernt. Im Wasser ober dem Kolben sollen keine Luftblasen sein. Schon bei dieser Vorbereitung bemerkt man, daß im Wasser unter dem Kolben eine große Menge Luftblasen, die vorher unsichtbar waren, mächtig aufschwellen. Läßt man den Kolben los, so wird er vom äußeren Luftdruck energisch hineingestoßen, wobei die Luftblasen fast unsichtbar werden. Enthält das Wasser Kohlensäure- oder Ammoniakgas, so zeigt sich starkes Aufschäumen der Flüssigkeit. Steckt man in das Wasser einen 15 cm langen Holzspan, so treten beim Pumpen massenhaft Luftblasen aus, die auf obige Weise entfernt werden. Wird mit reinem Wasser gefüllt, die absortierte und adhärierende Luft durch längeres Pumpen weggeschafft und über den Kolben gebracht, und dann das Ganze im Wasserbad von 50—60° C oder durch einfaches Übergießen erhitzt, so tritt das Sieden unter vermindertem Druck sehr deutlich ein. Zieht man bei annähernd horizontaler Haltung den Kolben sehr rasch vollständig aus der Röhre, so hört man das für den Wasserhammer charakteristische Knacken (Achtung auf Durchschlagen der Schmelzstelle).

Es empfiehlt sich, die verschiedenen Versuche, die sich noch mannigfaltig variieren und ergänzen lassen, bei verschiedener Haltung der Pumpe anzustellen, z. B.

horizontal und vertikal mit aufwärts oder abwärts gerichteter Kolbenstange. Die Versuche gewinnen oft ein stark verändertes Aussehen, insbesondere bei engen oder weiten Röhren. Damit bei der letzteren Haltung das die Abdichtung bewirkende Wasser nicht ausrinnt, schiebt man eine Korkscheibe auf die Kolbenstange, die die 10 cm lange Wassersäule begrenzt; diese Korkscheibe soll auf der Kolbenstange stramm aufsitzen, an der Rohrwand braucht sie nicht dicht anzuschließen.

Eine Führung der Kolbenstange ist bei weiteren Röhren angenehm und durch eine Zwirnspule oder dergl. leicht herstellbar.

Gleitfunken. Von **Arnold Deutscher** in Wien. Man entfernt bei der Influenzmaschine die Entladerspieße und bestimmt den Abstand ihrer metallischen Träger. Ein Glasrohr von doppelter Länge und 2 cm Weite wird beiderseits mit einer 1 cm dicken Korkscheibe versenkt verschlossen; durch diese Korke vermitteln kleine außen befindliche Kugeln mit kurzen Drahtstücken die Leitung ins Innere, das bis auf eine kleine Luftblase mit Wasser gefüllt wird. Liegt das Rohr symmetrisch auf obigen metallischen Trägern und erregt man die Maschine, so schlagen über den ganzen Abstand Gleitfunken über. Setzen diese später aus, so läßt man mittels eines Entladers auf einen Knopf der Röhre einige Funken überspringen.

Selbstherstellung eines Simon-Unterbrechers. Von Dr. **Albert Lotz** in Berlin-Grunewald. W. Grosch hat in dieser Zeitschrift 35, 81, 1922 einen elektrolytischen Unterbrecher beschrieben, dessen Einsatz aus einem Reagenzglas mit einem ca. $^1/_2$ mm weiten Loche besteht. Nach meiner Erfahrung springt jedoch das Glas nach kurzer Benutzung, da die Beanspruchung des Materials durch den Unterbrechungsfunken an der Öffnung sehr erheblich ist. Ich habe deshalb schon 1907 mit Erfolg Simon-Unterbrecher aus einer gewöhnlichen Porzellantasse hergestellt, in deren Seitenwand ein kleines Loch gebohrt wird. Die Herstellung dieses Loches geschieht auf folgende Weise: Mit einer an der Spitze scharf geschliffenen Dreikantfeile wird an der dafür bestimmten Stelle ein kleines Kreuz eingeritzt und auf diesen Punkt eine gewöhnliche Grammophonnadel aufgesetzt. Mit einem Hammer schlägt man kräftig einmal auf die Nadel, während man die Tasse auf den Knien hält. Falls man mit einem einzigen Hammerschlag nicht durch das Porzellan kommt, wiederholt man den Schlag, wobei aber jedesmal (und das ist wichtig!!) eine neue Nadel genommen werden muß. Das Porzellan splittert dabei nach innen aus, während in der äußeren Wand ein kleines Loch von $^1/_2$—1 mm entsteht. Diese „Einsätze“ stellt man in eine etwas größere Porzellanschale und füllt sie mit ca. 30%iger Schwefelsäure. Als Elektroden dienen Bleistreifen.

Bei direktem Anschluß von 110 Volt beträgt die Stromstärke in der Primärspule etwa 1—2 Amp. Falls höhere Stromstärken (für größere Induktoren) gewünscht werden, kann man in eine Tasse mehrere Löcher bohren oder aber besser in eine größere Schale zwei oder mehrere solche Einsätze stellen und deren Elektroden parallel schalten. Da bei längerem ununterbrochenem Betriebe die Säure sehr heiß wird, so empfiehlt es sich größere Gefäße zu nehmen. Im Laufe der Zeit nach etwa 50 und mehr Stunden Gesamtbenutzungsdauer erweitern sich die Löcher auf das Doppelte, so daß mehr Strom durchgelassen wird[1]).

[1]) Auf die Gefährdung der Sekundärspule kleinerer oder nicht sehr sorgfältig gebauter Funkeninduktoren bei Verwendung eines elektrolytischen Unterbrechers sei bei dieser Gelegenheit aufmerksam gemacht. Die Schriftleitung.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Ein Apparat zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten der Luft. Von G. E. RIPLEY, University of Arkansas, Fayetteville, Ark. *(School Science and Math. Vol. 23. Nr. 5. May 1923.)*

Der Verfasser zieht es vor, die Gaskoeffizienten des Gay-Lussacschen Gesetzes (in Amerika nach Charles benannt) bei konstantem Volumen zu bestimmen, da das Gesetz für konstanten Druck bei $v = 0$ seinen Sinn verliere. Der gewöhnlich dafür benutzte Apparat leide indessen an den Übelständen, daß das kapillare Verbindungsrohr leicht zerbreche oder daß das Quecksilber in die Kugel hinübersteige, oder daß letztere springt, wenn man sie erst in schmelzendes Eis und dann in siedendes Wasser taucht, oder auch daß die Schlauchverbindung locker wird, Luft eindringt und Quecksilber verloren geht. Der Verfasser hat daher dem Apparat eine andere Form gegeben, die sich in mehrjährigem Gebrauch bewährt hat.

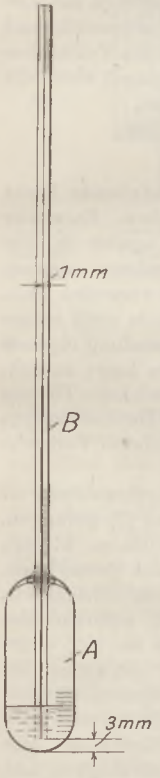

Fig. 1.

In das Gefäß A (Fig. 1) von etwa 200 cm³ Inhalt ist ein Kapillarrohr B von etwa 1 mm Durchmesser und 55 cm Länge eingeschmolzen, das bis nahe an den Boden reicht. Das Gefäß wird mit trockener Luft gefüllt mit Hilfe von Trockenröhren oder indem man es leerpumpt und in Außenluft von -10 oder 15^0 öffnet. Das Gefäß wird dann mit etwa 20 cm³ Quecksilber gefüllt (die erforderliche Menge kann genau berechnet werden), so daß beim Einbringen in eine Mischung von Eis und Wasser die Quecksilbersäule nur 2—3 cm über dem Boden des Gefäßes steht. Die Kapillarröhre B trägt eine mm-Teilung, die am unteren Ende beginnt. Die Ausdehnung des Quecksilbers im Gefäß kompensiert sowohl die Ausdehnung des Glases als auch die durch Emporsteigen von Quecksilber in B hervorgerufene Volumänderung, man kann daher von einer Korrektur in dieser Hinsicht absehen. Dagegen ist eine Korrektion c wegen der Kapillardepression in der Röhre anzubringen. Bezeichnet d die Höhe der Quecksilberoberfläche in A über der Tischplatte, h_0 die Höhe der Quecksilbersäule bei 0^0, h_t beim Siedepunkt, ebenfalls von der Tischplatte an gemessen, so sind die Drucke

$$p_0 = B + h_0 - d + c$$
$$p_t = B + h_t - d + c$$

und der Ausdehnungskoeffizient

$$\alpha = \frac{p_t - p_0}{p_0\,(t - t_0)}.$$

Die Messungsergebnisse sind in folgenden 3 Tabellen zusamengestellt:

	1.	2.	3.
h_0	= 13,00 cm	13,1	13,02
h_t	= 44,40 cm	44,41	44,42
t^0	= 98,8° C	99°	99°
t_0^0	= 0° C	0°	0°
b	= 72,86 cm	72,89	72,90
c	= 1,2 cm	1,2	1,2
d	= 1,3 cm	1,3	1,3
α	= 0,00370	0,003682	0,003665

Die meisten sonst noch erhaltenen Zahlen sind diesen ähnlich, nur selten übersteigt die Ungenauigkeit 1%.

Man könnte den Druck bei 0° dem Atmosphärendruck genau gleich zu machen suchen, indem man die in Eiswasser gesenkte Vorrichtung so neigt, daß das untere Ende des Rohrs gerade frei wird. Doch hat das vorher beschriebene Verfahren den Vorzug, daß die Luft in A sicher trocken bleibt. Ob die Dichtigkeitsänderung des Quecksilbers von merklichem Einfluß ist, soll noch untersucht werden. *P.*

Versuche über Färbung rotierender Scheiben. Von A. STEICHEN in Bombay. *(Physikal. Ztschr. 24, 112; 1923).* Auf eine weiße Scheibe malt man schwarze Flächen in symmetrischer Anordnung, oder weiße Flächen auf eine tief schwarze Scheibe. Man versetzt die Scheibe in rasche Umdrehung, indem man sie gleichzeitig mit stetigem und intermittierendem Licht beleuchtet. Das erstere stellt man am besten mit einer elektrischen Glühlampe unter Einschaltung eines passenden Widerstandes her, das letztere mit einer Bogenlampe im Projektionsapparat, in deren stark konvergenten Lichtkegel man an der engsten Stelle eine durchlochte rotierende Scheibe anbringt, so daß das Licht in gleichen Zeitabständen regelmäßig unterbrochen wird. Die vom Verfasser angewandte Scheibe hatte nur 6 Löcher von je 1 qcm bei einem Scheibendurchmesser von 30 cm. Die Umdrehungsgeschwindigkeiten beider Scheiben paßt man am besten so aufeinander ab, daß die Sektoren auf der beleuchteten Scheibe scheinbar stille stehen; beide Lichter können durch Einschalten geeigneter Gläser beliebig gefärbt werden, auf der Scheibe erscheint dann ein Spiel komplementärer Farben.

Die Versuche führen zu folgenden Ergebnissen: Beleuchtung mit intermittierendem Licht reicht nicht zur Erzeugung komplementärer Farben; in diesem Falle erschienen die weißen Flächen in der Farbe des angewandten Lichtes, die schwarzen Flächen bleiben schwarz. Auch Beleuchtung der ruhenden Scheibe mit beiden Lichtarten zugleich ruft keine komplementäre Färbung hervor. Diese tritt erst bei doppelt

beleuchteter rotierender Scheibe auf. Die weißen Felder nehmen dabei eine Farbe an, die der des intermittierenden Lichtes ähnlich ist, die schwarzen Flächen erscheinen dazu komplementär gefärbt. Doch bleiben gleichmäßig schwarze ununterbrochene Ringe auf weißem Grunde immer schwarz, nur auf Ringen, auf denen schwarze und weiße Flächen miteinander wechseln, treten die Komplementärfarben auf. Die Helligkeit der Farben hängt von dem Mischungsverhältnis von Weiß und Schwarz ab. Je tiefer das Schwarz der Sektoren, um so schöner werden die Kontraste und die Farben.

Die Erscheinung wird dadurch erklärt, daß sich die schwarzen Partien für das Auge wie Schatten verhalten, es handelt sich hiernach um ein Gegenstück zu dem Phänomen der farbigen Schatten. Hierauf deutet auch der Umstand hin, daß die Farbe der schwarzen Flächen der Farbe des Schattens der Befestigungsmutter der Scheibe gleicht, der zum intermittierenden Licht gehört und vom stetigen Licht getroffen wird, während die Farben der weißen Felder dem Schatten der Befestigungsmutter ähnlich sind, der zum stetigen Licht gehört und vom intermittierenden Licht beleuchtet wird. Die Erklärung der farbigen Schatten selbst fällt in das Gebiet der Psychologie.

Für die Versuche empfiehlt sich besonders eine Scheibe von 21 cm Durchmesser, die auf einem äußeren 4 cm breiten weißen Ring 6 schwarze Sektoren und auf einem inneren 4 cm breiten schwarzen Ring 6 weiße Sektoren hat. Allen Sektoren gibt man die gleiche Länge in radialer Richtung (2 cm) und dieselbe Winkelbreite (18°); die weißen Sektoren des einen Ringes entsprechen den schwarzen des andern. Um den Mittelpunkt läßt man eine runde Fläche von 5 cm Durchmesser frei, um die farbigen Schatten der Befestigungsmutter beobachten zu können. Prachtvolle Erscheinungen erhält man auch mit einem großen tiefschwarzen Stern auf weißem Grunde, wenn man mit Rot und Grün zugleich beleuchtet.

Man kann auch die rotierende Scheibe gleichzeitig mit der Zimmerlampe stetig und mit der Puluj schen Phosphoreszenzlampe intermittierend beleuchten. Man verliert hierbei den Vorteil beliebiger Färbung, doch kann man damit ebenfalls die komplementäre Färbung zeigen. *P.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Neuere Forschungen zur lichtelektrischen Leitfähigkeit[1]). Originalbericht von Dr. A. WENZEL, Brandenburg-Havel. Unter lichtelektrischer Leitfähigkeit versteht man die Herabsetzung des elektrischen Widerstandes eines Körpers bei Bestrahlung mit Licht bestimmter Wellenlänge. Allgemein bekannt ist sie durch Beobachtungen am Selen, die sowohl Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen, wie auch technischer Verwendung geworden sind. Während früher Selen der einzig bekannte Stoff für derartige lichtelektrische Untersuchungen war, konnten sie im Laufe der letzten Jahre auf sehr viele andere Substanzen ausgedehnt werden. Hier sind besonders die Arbeiten von Coblentz und seinen Mitarbeitern zu nennen (1), die das Verhalten verschiedener Sulfidminerale unter der Einwirkung roten und ultraroten Lichtes studierten, dann die von Gudden und Pohl (2), die sich bei ihren Messungen mit bestem Erfolg homogener Kristalle bedienten, und schließlich die von Röntgen und Mitarbeitern (3), die die Leitfähigkeit des Steinsalzes untersuchten.

Nach den Anschauungen über das Bohrsche Atommodell entsteht jedesmal dann Licht, wenn ein Elektron von einer neuen in die alte Energiestufe zurückkehrt. Diese Elektronenbewegung muß also auch bei der Phosphoreszenz vor sich gehen. Ein phosphoreszierender Körper (kurz „Phosphor“ genannt) wird durch bestimmte Lichtwellen erregt, d. h. in seinen Erregungszentren werden Elektronen durch das einfallende Licht auf eine höhere Energiestufe gehoben. Entweder springen diese Elektronen sofort wieder in ihre alte Energiestufe unter Aussendung eigenen Fluoreszenzlichtes zurück oder sie verweilen nach der Erregung in dieser Energiestufe noch einige Zeit und kehren dann unter Aussendung eigenen Phosphoreszenzlichtes in die alte Lage zurück. Diese schon 1904 von Lenard entwickelte Theorie der Luminiszenz ist oft durch Beobachtungen bestärkt worden, so erst kürzlich durch Versuche von K. Göggel (12).

Diese Elektronenbewegung nachzuweisen ist nun besonders Gudden und Pohl (2) gelungen. Sie bildeten aus einer Batterie, einem kleinen phosphoreszenzfähigen Kristall und einem hochempfindlichen Galvanometer einen Stromkreis. Sind derartige Kristalle vor und während des Versuchs im Dunkeln, so zeigen sie sich meist als gute Isolatoren. Selbst wenn sie, vorher belichtet mit schwachem Phosphoreszenzlicht abklingen, leiten sie den Strom nicht in nachweisbarer Menge. Nur wenn sie helles Licht aussenden, tritt eine beträchtliche Leitfähigkeit auf, doch nur während des Leuchtens. Dieser Vorgang ist als ein Beweis dafür anzusehen, daß sich während des Leuchtens wirklich Elektronen in den phosphoreszierenden Kristallen bewegen. Umgekehrt läßt sich auch die Rückbewegung der Elektronen beschleunigen, wenn man plötzlich ein hohes elektrisches Feld an den phosphoreszierenden Kristall legt. Hierdurch wird nämlich die Lichtstärke des Phosphoreszenzlichtes erheblich erhöht. Vielleicht werden durch das elektrische Feld die Elektronen aus ihrer neuen Lage herausgerissen und die Rückkehr in die alte Energiestufe gefördert.

[1]) Die Figuren sind dem Aufsatze von B. Gudden und R. Pohl „Neuere Beobachtungen über den Zusammenhang elektrischer und optischer Erscheinungen“ (Die Naturwissenschaften 11, 348, 1923) entnommen.

Um den Kristall sowohl in der Stromrichtung als auch senkrecht dazu durchstrahlen zu können, was zur Untersuchung der Frage nach der Abhängigkeit des Elektronenstroms von der Lichtrichtung von Bedeutung ist, bedienten sich Gudden und Pohl einer besonderen Versuchsanordnung, die in Fig. 1 schematisch dargestellt ist [nach Gudden und Pohl (2)]. Das Untersuchungsobjekt ist hier der kleine Zinnoberkristall, der mitten in der Fig. 1 als kleines Rechteck dargestellt ist.

Mit dieser Anordnung wurden zunächst viele Mineralien untersucht, um die Frage beantworten zu können, welche Stoffe lichtelektrische Leitfähigkeit besitzen. So zeigte sich, daß hier ausschließlich schlecht leitende kristalline Substanzen

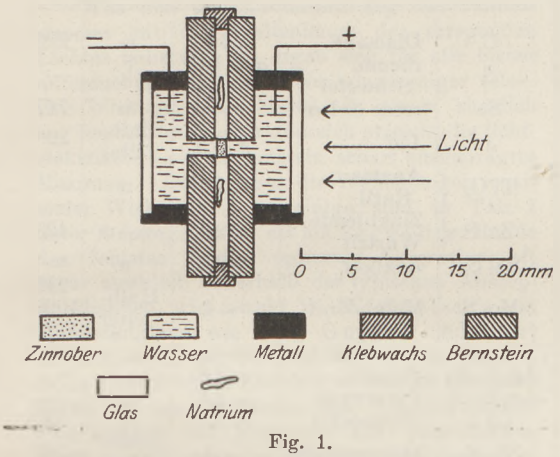

Fig. 1.

in Frage kommen, sowohl reine Elemente, wie z. B. der Diamant, als auch einfache Salze (*NaCl*) und komplizierte feste Lösungen, wie sie wahrscheinlich die Erdalkalisulfidphosphore u. a. darstellen. Ob es sich in allen Fällen um den gleichen Vorgang handelt, d. h. ob auch die reinen Stoffe lichtelektrisch erregbar sind oder ob hierzu spurenweise Verunreinigungen nötig sind, läßt sich bis heute nicht entscheiden. Interessant ist, daß gerade bei den Erdalkalisulfidphosphoren, die zur Phosphoreszenzfähigkeit spurenweise Verunreinigungen bedingen, die gleichen Lichtwellen imstande sind, lichtelektrische Leitfähigkeit und Phosphoreszenzlicht hervorzurufen. Auch reines weißes Steinsalz ist lichtelektrisch unwirksam. Erst wenn es durch

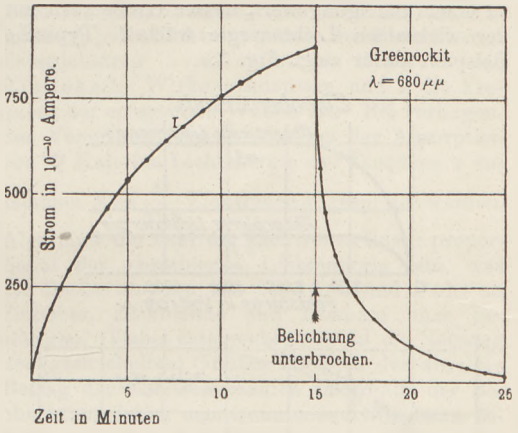

Fig. 2.

Röntgenstrahlen gelblich gefärbt ist, läßt sich der lichtelektrische Effekt beobachten. Ähnlich verhalten sich Sylvin und Flußspat. Wird die Färbung z. B. durch Erhitzen beseitigt, so verliert der Stoff auch seine lichtelektrische Erregbarkeit. Völlig unabhängig ist dagegen dieser Effekt von der Blaufärbung des Steinsalzes. Andererseits haben die Messungen ergeben, daß die lichtelektrische Leitfähigkeit im Diamant um so größer ist, je klarer der Stein ist. Jede sichtbare Verunreinigung setzt die Erregbarkeit ganz beträchtlich herab. Das gleiche gilt für Zinnober- und Zinkblendekristalle, was um so merkwürdiger ist, da Zinksulfid gerade erst mit geringen Schwermetallzusätzen gut phosphoresziert. Hinzu kommt noch, daß die gleichen Stoffe sehr verschieden erregbar sind, ja daß sogar dasselbe Stück in verschiedenen Stellen sehr verschiedene lichtelektrische Leitfähigkeit bei gleicher Bestrahlung zeigt. Das hängt sicherlich mit dem Reinheitsgrade zusammen, der doch gerade bei den natürlichen Kristallen sehr wechselt. Aber es muß noch dahingestellt bleiben, ob ein höherer Grad der Reinheit oder der Unreinheit für den Grad der lichtelektrischen Leitfähigkeit maßgebend ist.

Hieraus ergibt sich, daß die Verhältnisse am einfachsten bei einheitlichen Kristallen liegen, wie sie Röntgen, sowie besonders Gudden und Pohl bei ihren Untersuchungen verwandt haben. Bei den kristallinischen Aggregaten oder pulverisierten Stoffen, wie sie Coblentz benutzte, sind oft störende Einflüsse wie Gleichrichtereffekte, Kohärerwirkungen u. dergl. mehr zu erwarten (4). Früher nahm man an (5), für die lichtelektrische Erregbarkeit sei das Vorhandensein zweier Modifikationen des Stoffes notwendig, wie z. B. beim Selen, Jodsilber oder Schwefel. Aus obigem scheint aber doch hervorzugehen, daß nicht die Überführung der einen Modifikation in die andere das Wesen dieses Effektes ausmacht.

Der genaueren Untersuchung des Effekts stand ein Umstand hindernd entgegen. Der Strom steigt nämlich nach dem Einsatz der Beleuchtung langsam an und fällt auch nach dem Aufhören der Belichtung nur allmählich wieder ab. Als Beispiel sei hier Fig. 2 nach Gudden und Pohl (2) wiedergegeben, die den trägen Anstieg und den trägen Abfall des gesamten lichtelektrischen Stromes im Kadmiumsulfid (Greenokit) zeigt.

Es ist das Verdienst von Gudden und Pohl, an diesen Trägheitserscheinungen erkannt zu haben, daß die lichtelektrische Leitfähigkeit zusammengesetzter Natur ist. Sie teilten, durch

ihre Beobachtungen angeregt, den Gesamtstrom in den Primarstrom J_p und den Sekundärstrom J_s. Der Primärstrom J_p setzt trägheitsfrei beim Beginn der Belichtung mit einem endlichen meßbaren Werte ein, während der Dunkelstrom (ohne Belichtung) nicht meßbar ist. Im weiteren Verlauf der Belichtung wächst allmählich der Sekundärstrom J_s von unmeßbarem Wert beginnend an, überlagert J_p und nähert sich schließlich einem größten Wert. Um die Untersuchungen übersichtlich zu gestalten, schalteten sie den Sekundärstrom dadurch bei ihren weiteren Messungen aus, daß sie nur J_p bei momentaner Belichtung von mittlerer Stärke maßen. Ihre Ergebnisse waren kurz folgende: Der Primärstrom J_p ist direkt proportional der einfallenden Lichtenergie und steigt mit wachsender Spannung bis zu einem Sättigungswert, dessen Größe auch mit der wirksamen Lichtenergie wächst. Typische Beispiele dafür zeigt Fig. 3.

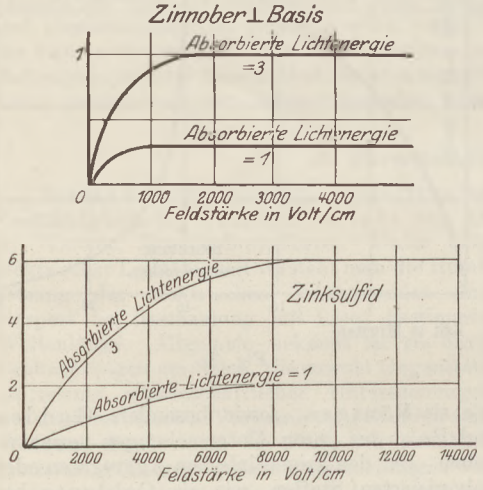

Fig. 3.

Sowohl beim Zinnober wie auch beim Zinksulfid wird der Sättigungsstrom für geringere Lichtenergien auch bei kleineren Feldstärken erreicht, so steigt beim Zinnober die Sättigungsfeldstärke bei der Verdreifachung der wirksamen Lichtenergie von 1000 Volt/cm auf ca. 1600 Volt/cm und beim Zinksulfid entsprechend von 7500 auf 8500 Volt/cm.

Bemerkenswert ist, daß die Belichtung des Kristalls nicht auf seiner ganzen Länge erforderlich ist; ein schmaler belichteter Streifen, dessen Lage völlig beliebig sein kann, vermag schon die Leitfähigkeit zu heben. Werden mehrere Stellen des Kristalls gleichzeitig belichtet, so addieren sich die Effekte der einzelnen belichteten Stellen. Den gleichen Effekt konnte J. C. Pomeroy (10) an nadelförmigen Selenkristallen beobachten, doch scheinen bei seinen Versuchen unkontrollierbare Vorgänge die Ergebnisse beeinflußt zu haben.

Da die Sättigungsspannung von der Dicke der Kristalle abhängt, ist es zur Charakterisierung der Stoffe besser, die Sättigungsfeldstärke anzugeben, die für jeden Stoff eine spezifische Konstante ist. In Tab. 1 [nach Gudden und Pohl (2)] ist eine größere Zahl von Stoffen mit ihren Sättigungsfeldstärken (niedrig n, mittel m, hoch h) zusammengestellt. Hinzugefügt ist noch der mittlere Brechungsindex für rotes Licht n_r und einige Wellenlängen λ der selektiven Erregungsbanden der lichtelektrischen Leitfähigkeit.

Tab. 1. Lichtelektrisch leitende Elemente und Verbindungen.

Zusammensetzung	Bezeichnung	n_r	Sättigungsfeldstärke	λ in $\mu\mu$
C	Diamant	2,34	m	226
S	rhomb. Schwefel	$\alpha = 1{,}89$ $\beta = 2{,}13$	h	—
Se	rotes Selen	~ 3	n	717
J	Jod	4 (?)	Halbleiter	—
TiO_2	Anatas	$\sim 2{,}5$	n	—
	Rutil			
Zn S	Zinkblende	2,26	n—m	420
	Wurtzit			
As_2S_2	Realgar	$> 2{,}6$	n	—
Mo_2S	Molybdänit	~ 4	Halbleiter	740 1020 1720
Ag_2S	Akanthit	~ 4	„	1300
Ag_3S_3As	Proustit	$\sim 3{,}0$	„	—
Ag_3S_3Sb	Pyrargyrit	$\sim 2{,}9$	„	—
Cd S	Greenockit	$\sim 2{,}7$	n	530
Sb_2S_3	Antimonglanz	~ 4	Halbleiter	760
Sb_2O_3	Senarmontit	~ 2	m	—
Hg S	Zinnober	$\omega = 2{,}63$ $\varepsilon = 2{,}89$	m—n	600
$HgCl_2$	Sublimat	~ 2	h	—
Hg Cl	Calomel	$\omega = 1{,}95$ $\varepsilon = 2{,}55$	h m	—
HgJ_2	Quecksilberjodid	> 2	n	—
$TlCO_3$	Thallocarbonat	~ 2	h	—
$TlAsS_3$	Lorandit	$\sim 2{,}5$	n	—
$PbCl_2$	Bleichlorid	~ 2	h	—
PbJ_2	Bleijodid	> 2	n	—
$PbCO_3$	Cerussit	2,0	m—h	—
$PbMoO_4$	Wulfenit	2,3	m	—
$PbCrO_4$	Krokoit	$\omega = 2{,}3$ $\varepsilon = 2{,}8$	n	—
$Er_2Pt_3Cy_{12} + 21H_2O$		> 2	m	—
$YPtCy_4 + 7H_2O$		> 2	m	—

Es hat sich nämlich gezeigt, daß besonders die Stoffe leicht lichtelektrisch erregbar sind, die einen hohen Brechungsindex haben. Das geht auch aus Tab. 1 hervor, wenn man die Sättigungsfeldstärken mit den Brechungsindizes vergleicht. Je kleiner die Sättigungsfeldstärke ist, desto leichter werden die Elektronen aus den Atomverbänden vom einfallenden Lichte gelöst.

Wenn der Mechanismus des Primärstroms wirklich in einer Fortführung der vom Lichte

freigemachten negativen Elektronen besteht, muß der Kristall an den belichteten Stellen allmählich positive Raumladung erhalten. Das vermochten Gudden und Pohl auch zu zeigen, indem sie der belichteten Kristallmitte eine mit einem Elektrometer verbundene Sonde gegenüberstellten. Die positiv geladene Kristallmitte wirkte nach kurzer Belichtung influenzierend auf die Sonde ein. Den lichtelektrisch ausgelösten Elektronenstrom direkt nachzuweisen, gelang H. Horton Sheldon und P. H. Geiger (11). Sie schalteten Akanthitkristalle in einen Galvanometerkreis ohne Batterie und riefen nur durch Bestrahlung mit Lampenlicht Ausschläge am Galvanometer hervor, die ihrer Größe wegen sicher nicht als von Thermoströmen herrührend gedeutet werden können.

Was nun den Zusammenhang des Primärstromes mit der Wellenlänge des erregenden Lichtes anbetrifft, so ergab sich für alle bisher untersuchte Fälle eine mehr oder weniger selektive Wirkung des Lichtes. In einem ziemlich eng begrenzten Spektralbereich erreicht die lichtelektrische Leitfähigkeit ein scharf ausgeprägtes Maximum. Dabei liegen die Wellenlängen maximaler Wirksamkeit — einige sind in Tab. 1 unter λ angegeben! — oft am langwelligen Rande des Gebietes größter optischer Absorption, oft sogar merklich außerhalb der typischen Absorptionsbanden, wie sowohl W. W. Coblentz am Molybdänglanz wie auch Gudden und Pohl an Zinkblende und Diamant nachweisen konnten. Beim dichroitischen Zinnober verschiebt sich nach Rose (6) das Maximum der lichtelektrischen Leitfähigkeit bei Erregung mit polarisiertem Licht beim Drehen des Polarisators in demselben Sinne wie sich der Dichroismus ändert.

Legt man mit Gudden und Pohl bei diesen Untersuchungen der Gesamtausbeute nicht wie bisher die eingestellte Lichtenergie sondern die absorbierte zugrunde, so ergibt sich das bemerkenswerte Resultat, daß nach längeren Wellen hin die wahre Ausbeute proportional zur Wellenlänge steigt. Fig. 4 veranschaulicht dies nach Messungen von Gudden und Pohl am Diamant.

Die gestrichelte Kurve gibt die Abhängigkeit der lichtelektrisch ausgelösten Elektrizitätsmengen bezogen auf die absorbierte Lichtenergie wieder als Funktion der Wellenlänge des Lichtes. Die Werte dieser Kurve erhält man aus der ausgezogenen Kurve, die sich auf gleiche einfallende Lichtenergie bezieht, wenn man die am gleichen Kristall gemessenen (in der Figur punktiert gezeichneten) Absorptionskonstanten berücksichtigt. Diese Fig. 4 birgt folgendes wichtige Ergebnis in sich.

Nach dem Quantenäquivalentsatz soll auf jedes Elementarereignis, hier also auf die Abspaltung jedes Elektrons gerade der Plancksche Energiebetrag $h \cdot \nu$ entfallen, wobei h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz der erregenden Wellen ist. Bei vorliegenden Versuchen müssen also bei der Absorption von Q Kalorien Lichtenergie der Frequenz ν zusammen $N = \frac{Q}{h \cdot \nu}$ Elektronen abgespalten werden. Also muß die Zahl der Elektronen linear proportional der absorbierten Lichtenergie sein, was die Beobachtungen von Gudden und Pohl an Zinnober, Zinkblende und Diamant auch bestätigen. Dabei entsprechen sowohl die Neigung der (gestrichelten) Graden als auch der absolute Betrag der Elektronenzahlen innerhalb der Beobachtungsfehler dem Quantenäquivalentsatz, sofern man die Spektralgebiete, in denen die Kristalle noch durchsichtig sind, nicht verläßt. Nähert man sich aber dem eigentlichen Absorptionsgebiet, so sinkt die Ausbeute weit unter das Äquivalent und verschwindet schließlich im Gebiet der Undurchsichtigkeit gänzlich. Diese Eigentümlichkeit zu erklären, ist bisher noch nicht gelungen. —

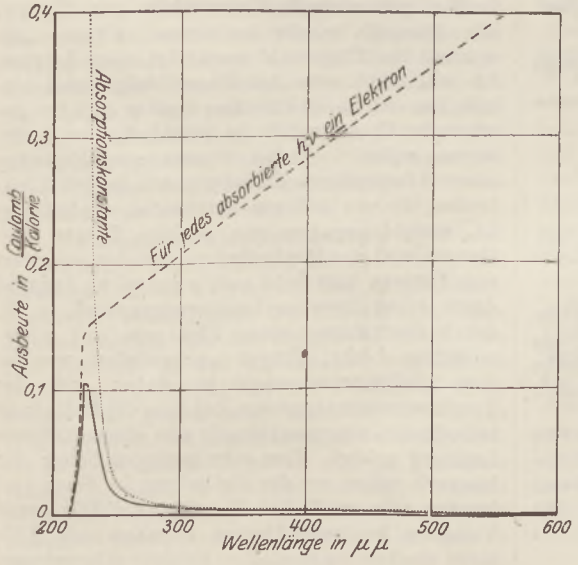

Fig. 4.

Verwendet man größere Intensitäten des einfallenden Lichtes und belichtet längere Zeit, so tritt zu dem Primarstrom der seinem Wesen nach noch gänzlich unbekannte Sekundärstrom J_s, wozu noch oft der Einfluß der im Kristallinnern positiven Raumladungen, die sich durch Elektronenverarmung ausbilden, kommt. Auch können, wie Zahn (7) an Zinkblendekristallen gezeigt hat, durch unsymmetrische Bestrahlung einer lichtelektrisch leitenden Platte, an der ein elektrisches Wechselfeld liegt, eine ganz ausgesprochene Gleichrichterwirkung hervorgerufen werden, was bei symmetrischer Bestrahlung nicht der Fall ist.

Ist die Substanz voll erregt, so sinkt bei fortdauernder Bestrahlung der Strom allmählich wieder. Hier scheint ein „photonegativer Effekt", wie Coblentz diese Erscheinung nennt, aufzutreten, doch ist man auch über diesen noch im

Unklaren, zumal er verwickelter Natur zu sein scheint. Daß auch die Kristallstruktur einen Einfluß auf die photoelektrische Empfindlichkeit hat, zeigte W. W. Coblentz neuerdings besonders durch Messungen an den beiden Modifikationen von Ag_2S, dem Argentit und dem Akanthit. Während der Argentit nur den positiven Effekt mit einem Maximum bei $\lambda = 1{,}35\ \mu$ zeigt, besitzt der Akanthit auch negative Effekte mit einem Empfindlichkeitsmaximum bei $\lambda = 1{,}4\ \mu$. —

Auch die Dielektrizitätskonstante wird durch Bestrahlung mit Licht bestimmter Wellenlänge verändert. Das konnten W. Späth (8) für das Selen und Gudden und Pohl (2), sowie W. Molthan (9) für Zinksulfid nachweisen, doch muß letzteres einen geringen *Cu*-Zusatz haben, während bei reiner Zinkblende oder solcher mit anderen Metallzusätzen der Effekt nicht nachweisbar war. Die Änderungen der Dielektrizitätskonstanten geht bezüglich der spektralen Empfindlichkeitsverteilung derjenigen der Leitfähigkeit parallel. Sie hängt aber sehr stark von der Frequenz des zur Messung verwandten Wechselfeldes ab. In einem Falle war die Dielektrizitätskonstante des Zinksulfids im Dunkeln $\varepsilon = 8$, im Licht bei der Frequenz des Wechselstroms von ca. 10^6 war $\varepsilon = 14$, bei der Frequenz von $6 \cdot 10^9$ aber nur $\varepsilon = 9{,}5$.

Wie die hier angeführten bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, stehen wir hier vor einer Kette von Problemen, zu deren Lösung Gudden und Pohl einen erfolgreichen Weg eingeschlagen haben.

Literaturübersicht.

1. W. W. Coblentz: Bul. Bur. of Stand. 14. 591. 1918; 15. 121. 1919; 16. 253 u. 596. 1920; 17. 177 1921. — Journ opt. Soc. Amer. 4. 249. 1920. — Phys. Rev. 13. 291. 1919; 15. 139. 1920 u. 19. 532. 1922
2. B. Gudden u. R. Pohl: Zeitschr. f. Phys. 1. 365. 1920; 2. 181. 192. 361. 1920; 3. 98. 123. 1920; 4. 206. 1921; 5. 176. 1921; 6. 248. 1921; 7. 65. 1921. — Physikal. Zeitschr. 22. 529. 1921 u. 23. 417. 1922. — Zeitschr. f. techn. Phys. 3. 199. 1923. — Naturw. 11. 348. 1923.
3. W. C. Röntgen: Ann. d Phys. 64. 1. 1921.
4. Vgl. den Bericht von P. Pringsheim in „Ergebnisse der exakten Naturw." 1. 340. Berlin 1922.
5. F. Kämpf: Ann. d. Phys. 63. 463. 1921 u. Phys. Zeitschr. 23. 420. 1922.
6. H. Rose: Zeitschr. f. Phys. 6. 174 1921.
7. H Zahn: ebenda 8. 382. 1922.
8. W. Späth: ebenda 9. 165. 1922.
9. W. Molthan: ebenda 4. 262. 1921.
10. J. C. Pomeroy: Phys. Rev 19. 414. 1922.
11. H. Horton Sheldon u. P. H. Geiger: Phys. Rev. 19. 389. 1922.
12. K. Göggel: Ann. d Phys. 67. 301. 1922.

Die elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen. Ein lange umworbenes Problem der Physik kommt in einem kürzlich erschienen Buche von W. O. SCHUMANN [1]) zur Darstellung, es handelt sich um den Zusammenhang zwischen Funkenlänge und Potentialdifferenz bei Funkenentladungen. Ein umfangreiches Material älterer und neuerer experimenteller Forschungen wird in Tabellen und graphischen Darstellungen vor uns ausgebreitet: die Anfangsspannung und deren Zusammenhang mit den beeinflussenden Umständen wie Luftdichte, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Frequenz, Gestalt der Elektroden füllen den ersten Teil der Schrift (S. 1—96). Es wird dann gezeigt, daß eine theoretische Behandlung erst möglich geworden ist durch die Erfahrungen über elektrische Entladung in verdünnten Gasen und insbesondere die Erkenntnis der atomistischen Struktur der Elektrizität. Jeder elektrische Strom in einem Gase ist mit einer mechanischen Bewegung positiv und negativ geladener Teilchen (Elektrizitätsträger) verknüpft; diese Bewegung folgt im hohen Vakuum den elektrischen Kraftlinien, ist aber in einem Gase durch die Zusammenstöße mit den Gasmolekülen erheblich beeinträchtigt, so daß eine unregelmäßige Zickzackform entsteht, bei der nur im Mittel eine Verschiebung im Sinne der Feldkräfte stattfindet. Hierzu tritt die weitere Erfahrung, daß die elektrisch neutralen Moleküle eines Gases durch eine Reihe von Einwirkungen (Bestrahlung mit Kathodenstrahlen, ultraviolettem Licht u. a.) in Elektrizitätsträger umgewandelt werden können, ein Vorgang, der durch die Hypothese der Stoßionisation eine zutreffende Erklärung findet. Hierauf gründen sich alle Theorien der Anfangsspannung, sie unterscheiden sich nur in der Annahme darüber, auf welche Art diese Ionisierung zustande kommt. Da auch das elektrisch neutrale Gas eine, wenn auch äußerst geringe Leitfähigkeit für den elektrischen Strom besitzt, so darf angenommen werden, daß auch in ihm schon eine geringe Zahl von Elektrizitätsträgern vorhanden ist; diese werden in einem elektrischen Felde von genügender Stärke in Bewegung gesetzt und erzeugen beim Auftreffen auf neutrale Gasmolekeln neue Träger, die ihrerseits wieder ionisierend wirken. „So wächst die Trägerzahl nach Art einer Lawine, bis schließlich eine Art Kurzschlußzustand eintritt, der sich im elektrischen Funken und bei genügender Energiezufuhr im anschließenden Lichtbogen äußert." Dabei müssen zum Eintreten einer selbständigen Entladung bei kalten Elektroden, die von äußeren Umständen unabhängig ist, sowohl negative wie positive Träger ionisierend wirken Die Entladung bei nur einer Art von Trägern hört bald auf, wenn nicht dauernd durch einen fremden Ionisierungsprozeß, z. B. durch Bestrahlung einer Elektrode mit ultraviolettem Licht, Träger nachgeliefert werden. Als „Anfangsspannung" ist daher erst der Spannungswert anzusehen, bei dem die Entladung selbständig, also unabhängig von einem äußeren Ionisator erfolgt. Den sehr geringen Strom der hiernach schon vor der Entladung im Gase vorhanden sein muß, hat Warburg (1897) durch Versuche bei sehr kleinen Drucken mit Hilfe eines starken magnetischen Feldes nachgewiesen.

[1]) Elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen: Theoretische Grundlagen und Anwendungen von W. O. SCHUMANN, a. o. Professor der technischen Physik a. d. Univ. Jena. Mit 80 Textabbildungen. 246 S. Berlin, Julius Springer, 1923. GZ. 6, geb. M. 7,25.

Das elektrostatische Feld wird durch die Ladungen der sehr geringen Zahl wandernder Teilchen nicht wesentlich gestört.

Auf diese Voraussetzungen hat J. S. Townsend eine mathematische Theorie aufgebaut und in zahlreichen Abhandlungen, sowie in zwei selbständigen Schriften (1910 und 1911) und in einem Aufsatz im 1. Band des Handbuchs der Radiologie veröffentlicht. Die Theorie setzt nur voraus, daß der an jeder Stelle herrschende Zustand durch die dort gültige Feldstärke bestimmt ist und nicht auch durch die Feldstärken in vorher durchlaufenen Zonen, und daß die Schlagweite im Vergleich mit der Weglänge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stößen so groß ist, daß z. B. Beschleunigungen zu Beginn der Bewegung etwa an der negativen Elektrode gegen den gesamten Weg oder die gesamte Wanderungszeit nicht in Betracht kommen. Bedeutet α die Zahl der durch Stoß negativer Teilchen erzeugten neuen positiven bzw. negativen Teilchen, β die Zahl der durch die positiven Teilchen bei der gleichen Verschiebung in entgegengesetzter Richtung erzeugten positiven bzw. negativen Teilchen, so ist die Bedingung dafür, daß eine selbständige Entladung eintritt, dadurch dargestellt, daß das Verhältnis α/β der pro cm befreiten Träger gleich sein muß dem Verhältnis der auf der ganzen Entladungsstrecke von einem Träger befreiten neuen Ionen. Bei den hohen Drucken, um die es sich zunächst handelt, spielt die Befreiung von Elektronen aus dem Kathodenmetall durch den Aufprall positiver Teilchen nur eine untergeordnete Rolle, während dieser Effekt bei sehr hohem Vakuum der vorherrschende wird. (Auch findet bei Edelgasen, sowie bei äußerst reinem N und H anscheinend die positive Ionisierung vorwiegend am Kathodenmetall statt.)

Zur Ermittelung des Zusammenhanges der Ionisierungszahlen α und β mit der elektrischen Feldstärke E wird von Townsend die kinetische Theorie der Gase herangezogen und dadurch das von Paschen experimentell gefundene Gesetz theoretisch begründet, daß die Anfangsspannung nur eine Funktion des Produkts aus der Dichte p der positiven Teilchen und dem Elektrodenabstand δ ist. Die von Townsend und seinen Schülern angestellten Messungen von α und β ergaben eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit der Theorie.

Die negativen Elektrizitätsträger sind nach Townsend bei genügend hohen Werten der Spannung ($\approx$ 46 kV/cm) und bei Atmosphärendruck im wesentlichen freie Elektronen. Ihre Zusammenstöße mit den Gasmolekülen erfolgen fast elastisch, so daß die mittlere ungeordnete Molekulargeschwindigkeit der bewegten Elektronen viel größer wird, als dem thermischen Gleichgewicht mit den Gasmolekülen entspricht; sie ist auch mehrmals größer als die geordnete Geschwindigkeit in der Feldrichtung. Hierauf beruhende Betrachtungen führen zu einer mittleren Ionisierungsspannung von etwa 24 Volt, und da die direkten Messungen sehr viel geringere Werte ergeben, so ist zu schließen, daß nur ein sehr geringer Prozentsatz der Stöße wirklich zur Ionisierung führt. Erst bei sehr viel höheren Werten der Spannung überwiegt die Geschwindigkeit in Feldrichtung die ungeordnete, so daß das Elektron sich fast vollständig in der Richtung der Kraftlinien bewegt. In diesem Gebiet kann man den Stoß als unelastisch ansehen, da der größte Teil aller Stöße ionisierend ist und fast alle Energie beim Stoß abgegeben wird. Unter den gemachten Annahmen findet man in Luft eine mittlere Ionisierungsspannung von etwa 25 Volt und eine mittlere freie Weglänge des Elektrons, die gleich der doppelten gaskinetischen ist. Der positive Elektrizitätsträger hat eine außerordentlich viel schwächere ionisierende Wirkung als der negative. Eine große Rolle spielt die Beimischung von Verunreinigungen, z. B. Wasserdampf. In feuchter Luft ist die Masse des Elektrizitätsträgers bis zu wesentlich höheren Werten der Spannung vergleichbar der Molekularmasse, also noch nicht als Elektron anzusprechen. Hier sind aber noch weitere Aufklärungen erforderlich. —

Die Natur der Zusammenstöße langsamer Elektronen mit Molekülen wurde direkt zuerst von J. Franck und G. Hertz festgestellt, indem Elektronen bestimmter Geschwindigkeit einem feldfreien Gasraum zugeführt wurden und beobachtet wurde, mit welcher Geschwindigkeit die Elektronen aus diesem Raum in einen Meßraum reflektiert wurden. Dabei fand sich in vollkommen reinen Edelgasen, reinem Stickstoff und Metalldämpfen verlustlose Reflexion, bei H_2 bereits Energieverluste, die bei O_2 sehr beträchtlich wurden. Es ist demnach anzunehmen, daß im ersten Fall das Elektron dauernd oder wenigstens sehr vorherrschend frei bleibt, während es im zweiten (bei den elektronegativen Gasen) kurze Zeit nach seiner Entstehung absorbiert wird. Die Grundzüge einer Theorie der Entladung, aufgebaut auf der Hypothese des elektrischen Stoßes, also für Edelgase und Metalldämpfe, wurden von Franck und Hertz (1914), G. Holst und E. Oosterhuis (1922) entwickelt.

Die positiven Elektrizitätsträger (als Kanalstrahlen) sind in stark verdünnten Gasen von Molekül- bzw. Atomgröße. Bei normalem Druck und geringer Feldstärke sammeln sie Molekülkomplexe um sich, die noch etwas größer sind als die des negativen Trägers. Bei größeren Feldstärken und geringen Drucken, etwa im Gebiet der Stoßionisierung, treten sie wahrscheinlich in Molekülgröße auf. In diesem Stadium finden Umladeerscheinungen statt. Sobald durch den Stoß ein Elektron aus einem neutralen Molekül frei wird, kann es von dem positiven Träger in dessen Verband aufgenommen werden, so daß eine Umkombination eines neutralen Moleküls eintritt. Auf diese Weise ließe sich die geringe ionisierende Wirkung, die bei positiven Teilchen beobachtet ist, erklären.

Ein besonderes Kapitel ist die Untersuchung der Durchbruchfeldstärke von Drähten, für die

sowohl Townsend als auch B. Davis eine Theorie aufgestellt haben.

Umfangreich sind die Arbeiten über Stoßionisierung und Durchbruchfeldstärke in Luft bei Normaldruck. Hier sind namentlich die Erscheinungen bei ebenen Elektroden, konaxialen Zylinderelektroden, konzentrischen Kugeln und bei zwei gleichen Kugeln untersucht worden. Interessant ist hier u. a. die Tatsache, daß bei gegebener Schlagweite die Anfangsspannung nicht etwa für zwei Ebenen am größten ist, sondern mit abnehmendem Krümmungsradius durch ein Maximum geht. Dies Maximum tritt bei ziemlich kleinen relativen Schlagweiten auf und verschiebt sich mit wachsender Schlagweite nach den größeren Radien (Baille, 1882). Auch diese Eigentümlichkeit ist jetzt theoretisch erklärlich.

In historischer Beziehung ist schließlich noch zu erwähnen, daß die Lehre der Stoßionisation von Schuster (1884) stammt und von J. J. Thomson (1900) weiter ausgebaut worden ist, der auch 1901 den Begriff der Ionisationsspannung geprägt hat. Im gleichen Jahr veröffentlichte Townsend seine erste Arbeit. Dann hat Lenard (1902) auf Grund seiner Forschungen über die Absorption der Kathodenstrahlen nachgewiesen, daß die Stoßionisation ein von der Trägerbildung durch Absorption eines Elektrons verschiedener Vorgang sei und in einer Reihe von Gasen die Ionisierungsspannung gemessen, die sich für alle zu etwa 11 Volt ergab. Er zeigte weiter (1903), daß die Stoßionisation in der Entziehung eines Elektrons aus dem Molekül bestehe und bestimmte experimentell die Zahl der pro cm Strahlenweg ausgelösten Elektronen. J. Stark hat (1902) die Vorstellungen des Ionenstoßes energetisch zu deuten versucht und eine Reihe von Beziehungen für die Anfangsspannung aufgestellt, die qualitativ den damals bekannten Versuchsergebnissen entsprachen. Das Verdienst von Townsend ist es, eine auch in quantitativer Hinsicht befriedigende Theorie entwickelt zu haben. *P.*

Untersuchungen über den Quecksilberlichtbogen im Vakuum. Von A. GÜNTHER-SCHULZE. *Zeitschr. f. Physik 11, 71—87* und *260—283, 1922.* (Vgl. Selbstreferat in *Physikal. Berichte 4, Heft 4, 1923.*) Die vom Kathodenfleck durch Wärmeleitung an das Kathodenquecksilber abgegebene Wärmemenge ist der Stromstärke proportional und beträgt pro Ampere 2,68 Wattsek. oder 51 % der gesamten Kathodenfallenergie. Die Größe des Kathodenflecks ist ebenfalls der Stromstärke proportional und beträgt $2{,}53 \cdot 10^{-4}$ cm² pro Ampere. Die Stromdichte im Kathodenfleck ist rund 4000 Amp. pro cm². Auch die Gewichtsabnahme des Kathodenquecksilbers infolge der Verdampfung im Kathodenfleck ist der Stromstärke proportional und beträgt pro Amperesek. $7{,}20 \cdot 10^{-3}$ g. Um die insgesamt verdampfende Menge zu erhalten, ist zu der oben angegebenen Menge noch die in Form von Quecksilberionen durch den Strom zur Kathode transportierte Quecksilbermenge hinzuzurechnen. Diese beträgt $2{,}077 \cdot 10^{-3}$ g pro Amperesek., so daß insgesamt $9{,}28 \cdot 10^{-3}$ g Quecksilber in 1 Amperesek. verdampfen. — Der gesamte Energieverlust im Kathodenfleck ergibt sich zu je 4,92 bzw. 4,99 Wattsek., während nach Stark 5,27 ± 0,09 Wattsek. zur Verfügung stehen. Es findet sich also fast die gesamte im Kathodenfall erzeugte Energie im Kathodenfleck wieder, woraus folgt, daß nahezu der gesamte Strom an der Kathode durch Quecksilberionen, und nur ein verschwindender Bruchteil durch Elektronen transportiert wird. Trotz ihrer geringen Zahl aber sind die ausgesandten Elektronen eine Bedingung des Lichtbogens, weil der Lichtbogen eine Entladungsform ist, in der nur die negativen Elektronen imstande sind, durch Stoß neue Ionen zu bilden, während die positiven Ionen diese Fähigkeit nicht besitzen.

Weitere Versuche über Dissoziation, Temperatur und Dampfdruck wurden im Quecksilberdampfgleichrichterkolben angestellt. Der Quecksilberdampfdruck, aus der Temperatur der Gefäßwand berechnet, erwies sich als nicht einheitlich, nahm vielmehr bei einem Versuch von 280 μ im heißesten Teil der Kühlkammer bis auf 14 μ im oberen Teil ab. Infolgedessen finden heftige Dampfstrahlströmungen in den Gefäßen statt. Im unteren Teil der Kühlkammer eines 100 Amp.-Gleichrichters z. B. ist die Durchschnittsgeschwindigkeit des in die Kühlkammer zur Kondensation einströmenden Quecksilberdampfes bei voller Belastung des Gleichrichters $4{,}5 \cdot 10^3$ cm/sek. In den Anodenarmen der Gleichrichter beträgt der Dampfdruck bei Volllast etwa 0,3 mm Hg. Der Temperaturverlauf im Querschnitt der positiven Säule des Lichtbogens wurde aus der Wärmeleitfähigkeit des Quecksilberdampfes und der im cm³ frei werdenden Energie berechnet. Für die Achse des Lichtbogens ergeben sich Temperaturen, die bei voller Belastung zwischen 1000° (beim 10 Amp.-Gleichrichter) und 10000° (beim 500 Amp.-Gleichrichter) liegen. Bei Betrieb mit 50-periodischem Wechselstrom folgen die Temperaturschwankungen in den Anodenarmen den Stromschwankungen fast ohne Verzögerung, die Dichteschwankungen dagegen zeigen merkliche Verzögerungen und bewirken heftige, in den Anodenarmen hin- und herströmende Dampfstrahlen. Der Dissoziationsgrad des Quecksilberdampfes ist bei mittlerer Belastung der Gleichrichter von der Größenordnung 10^{-4}. *P.*

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Über die Aufgabe der Physik. Auf eine für die Erkenntnistheorie der Naturwissenschaften und zwar insbesondere der Physik bedeutsame Arbeit möchte ich die Leser unserer Zeitschrift hiermit nachdrücklich aufmerksam machen. RUDOLF CARNAP, dessen Dissertation über den

Raum (Kantstudien, Erg., Heft 56, Berlin, Reuther u. Reichard), als eine der besten Schriften über die vielberufene Relativitätstheorie gilt, hat wiederum in den Kantstudien einen Aufsatz „Über die Aufgabe der Physik" veröffentlicht, der in einer wahrhaft klassischen Kürze und Prägnanz auf nur 17 Seiten ein umfassendes Programm der physikalischen Erkenntnistheorie entwickelt. Jede Zeile verrät dabei den vollendeten Sachkenner, der nicht nur, wie das so manche Philosophen getan haben, über die Physik redet, sondern das ganze Gebäude der modernen Physik wirklich aus eigener Anschauung kennt. Obwohl es fast unmöglich ist, von einem so konzentrierten Extrakt noch einmal wieder einen Extrakt zu geben, will ich versuchen, die wichtigsten Ergebnisse darzustellen.

CARNAP geht aus von der seiner Meinung nach durch POINCARÉ und DINGLER nachgewiesenen Tatsache, daß am Aufbau der Physik willkürliche Festsetzungen beteiligt sind (Konventionalismus). Es sind drei solcher Festsetzungen nötig: das Raum(meß)gesetz, das Zeit(meß)gesetz und das Wirkungsgesetz. Die Wahl zwischen den an sich möglichen verschiedenen Festsetzungen ist bestimmt durch den Grundsatz der Einfachstheit. Dieser Grundsatz ist jedoch zweideutig, da man die „Einfachstheit" ebenso gut auf das oder die Grundgesetze, wie auf die durch sie zu ermöglichende Beschreibung der Welt beziehen kann. Wie dies zu verstehen ist, erörtert CARNAP zunächst an einem Beispiel: der Aufgabe, die Anordnung der Bäume in einer Anpflanzung mittels eines zweifachen Koordinatensystems zu beschreiben. Stehen die Bäume beliebig durcheinander, so ist offenbar die Lage jedes einzelnen Baumes am einfachsten durch ein kartesisches Koordinatenpaar anzugeben. Stehen sie aber etwa in konzentrischen Kreisen, so ist die Anwendung von Polarkoordinaten sehr viel einfacher, wenn diese auch an sich nicht so einfach sind wie kartesische. — Ganz das Entsprechende gilt nun im großen für das Raumgesetz, das Zeitgesetz und das Wirkungsgesetz der physikalischen Weltbeschreibung. Es kommt darauf an, ob man die allgemeinen Gesetze möglichst einfach und ein für allemal festsetzen will, oder ob man sich die Freiheit vorbehalten will, entsprechend dem Fortschritt der Erfahrung den Zustand unserer Umgebung (in der vierdimensionalen Minkowskiwelt) möglichst einfach wiederzugeben. Im letzteren Fall muß man natürlich die Aussicht auf öftere Umarbeitungen in Kauf nehmen.

Um diesen Gedanken nun noch näher auszuführen, fingiert CARNAP einen idealen Endzustand der Physik gemäß der bekannten Laplaceschen Fiktion. Dann besteht nach ihm diese Physik aus drei „Bänden". Im ersten Bande steht das System der Axiome und dazu eine beliebige Anzahl spezieller Folgerungen, die auf einzelne wichtige Fälle zugeschnitten, aber nicht durchaus notwendig zur Erkenntnis des Wesentlichen sind. Im zweiten Bande steht die Beziehung der Wahrnehmungen zu den im ersten Bande erörterten Sätzen und Begriffen, er enthält, anders gesagt, ein Wörterbuch, in dessen einer Spalte solche Wörter, wie etwa Farbe (im Sinne Ostwalds) Wärmeempfindung, Ton usw. stehen, während in der zweiten Spalte daneben der entsprechende Begriff des ersten Bandes, also z. B. Elektronenschwingung, Molekularbewegung usw. steht. Offenbar hängt diese zweite Spalte von dem Inhalt des ersten Bandes ab. Im dritten Bande endlich steht die Beschreibung des Weltzustandes in zwei beliebigen Zeitpunkten, bzw. in einem Zeitpunkte, sofern man zu den Zustandsgrößen ihre zeitlichen Differenzialquotienten in dem betreffenden Zeitpunkte hinzunimmt. Zu allen drei „Bänden" gibt nun CARNAP weiter eine Reihe wertvoller Bemerkungen. Was den ersten anlangt, so stellt hier CARNAP eine Reihe verschiedener Versuche einer einheitlichen Physik nebeneinander, das klassische System der rein mechanistischen Physik, das Doppelsystem Mechanik-Elektrodynamik (Newton, Maxwell), das der Elektronentheorie (Lorentz), das der Relativ-Theorie nach Mie, Hilbert oder Weyl u. a. Gerade diese Zusammenstellung zeigt, wie hervorragend CARNAP die Sache beherrscht. Ich erwähne das besonders, weil ich ihm in der einfachen Nebeneinanderstellung dieser Systeme nicht beipflichten kann. — Betreffend des zweiten Bandes ist vor allem CARNAPS sehr wichtige und beherzigenswerte Bemerkung hervorzuheben, daß es für die Physik (im Gegensatz zu einer weit verbreiteten Auffassung) ohne Bedeutung ist, ob man im phänomenalistisch-realistischen Sinne die Inhalte des ersten Gebietes (der ersten Spalte des Wörterbuchs), z. B. eine Farbe, „bloße Erscheinungen", die des zweiten Gebietes, z. B. die entsprechenden elektromagnetischen Schwingungen, „Wirklichkeit" nennt, oder ob man umgekehrt im positivistisch-konszientialistischen Sinne die ersteren als das „wirklich Gegebene", die des zweiten als „nur begriffliche Komplexe jener Empfindungsinhalte" bezeichnet. „Darum heißt es nicht: wo dieses Blau erscheint, ist in Wirklichkeit ein solcher Elektronenvorgang — und auch nicht: an Stelle dieses Blau fingieren wir, um Berechnung zu ermöglichen, einen solchen Elektronenvorgang, sondern die Physik drückt sich neutral mit Hilfe der rein formalen Zuordnung aus und überläßt jene Ausdeutungen (m. a. W. das erkenntnistheoretische Problem) einer nicht physikalischen Untersuchung". Das sind lapidare Worte, die man heute den positivistischen Skeptikern innerhalb der Physik ebenso dringend ans Herz legen sollte, wie man sie früher den realistischen Materialisten hätte vorhalten können. Was den dritten Band betrifft, so weist hier CARNAP darauf hin, daß die Frage, welche Angaben eigentlich für ihn notwendig und ausreichend sind, noch gar nicht genügend untersucht ist. Daß es gerade zwei Schnitte $t =$ const. durch die vierdimensionale Raumzeitmannigfaltigkeit sein müßten, ist wahrscheinlich gar nicht einmal nötig. Dagegen ist es, falls

nicht Momentanwerte und Diff.-Quotienten angegeben werden, nötig, daß die Substanzelemente, etwa die Elektronen, der einen und der anderen Anordnung als miteinander identisch kenntlich gemacht werden.

Nach einigen Zwischenbemerkungen über die praktische Ausführbarkeit dieses Ideals wendet sich CARNAP zu der Frage, auf welchen Teil der Physik sich denn nun die Forderung der Einfachstheit bezieht, zurück. Er findet hier das Ergebnis: Schränkt man, wie es meist geschieht, die Physik auf den ersten Teil, die Aufstellung eines Systems von „Naturgesetzen", ein, so bezieht sich die Forderung der Einfachstheit natürlich auf die Grundgesetze. Dann sind die euklidische Geometrie und die Newtonschen Gesetze der Mechanik die einfachsten und es liegt kein Grund vor, davon abzugehen. Will man mit Fernwirkungen nicht arbeiten, so dürfte dem von Wiener entwickelten System der Vorzug zukommen (Abh. der sächs. Akad. 38, 4. Sonderdruck bei Teubner 1921.) Anders dagegen, wenn man die Forderung der Einfachstheit auf den zweiten oder dritten Band bezieht. Hier findet CARNAP zunächst das wichtige Ergebnis, daß diese beiden Fälle auf einen hinauskommen. Es ist jedoch am zweckmäßigsten, sie dann auf den zweiten zu beziehen und also zu verlangen, daß die den einzelnen Empfindungen usw. zugeordneten physikalischen Vorgänge möglichst einfach sind. Es läßt sich nach CARNAP noch nicht mit Sicherheit abschätzen, welchem System dabei dann der Vorrang gebührt. Jedenfalls wohl kaum dem klassischen, vermutlich einem der auf der Relativitätstheorie basierten. Um somit verschiedene Theorien gegeneinander objektiv abwägen zu können, ist es nur nötig, daß einmal festgesetzt wird, welche der Empfindungsinhalte als wesentlich für die Aufstellung der Zuordnungsvorschriften angesehen werden sollen und zweitens, daß ein Maßstab für den Grad der Einfachheit physikalischer Vorgänge festgestellt werde. Beides hält der Verfasser für Aufgaben, die die Wissenschaftslehre mit genügender Sicherheit wird lösen können.

Es sei mir gestattet, ein paar Bemerkungen, die zum weiteren Nachdenken anregen sollen, hinzuzufügen: Ein Grundirrtum CARNAPS ist meines Erachtens das unabhängige Nebeneinanderstellen der verschiedenen Axiomsysteme der Physik. Die von ihm aufgezählten sind in Wahrheit entweder grundsätzlich unzureichend, so das klassische, das mit seinen bloßen Gravitations-(Anziehungs)kräften schlechterdings keine vollständige Erklärung aller Erscheinungen zustande bringen kann, (weil es zu wenig Voraussetzungen enthält), oder aber sie sind nicht voneinander unabhängig, sondern decken sich schon jetzt teilweise und werden sich — diese These stelle ich CARNAP entgegen — in Zukunft um so völliger decken, je weiter sie ausgebaut werden. Sie stellen dann weiter nichts als ein und dasselbe System vor, das nur im einen Falle an diesem, im anderen an jenem Punkte angefangen wird. Daß die Sache sich so verhält, wird schon daran deutlich, daß ja z. B. das aus der Relativitätstheorie hervorgehende System das Galilei-Newtonsche keineswegs aus- sondern vielmehr (als Annäherung für langsame Bewegungen) einschließt. Ebenso schließen sich Elektronen- und Relativitätstheorie nicht aus, sondern stehen einstweilen nebeneinander, solange bis es vielleicht der letzteren gelingt, das Elektron aus sich deduktiv herzuleiten. Dann verschmelzen beide zu einer Theorie. Meines Erachtens besteht gerade heute keinerlei Grund, den Glauben aufzugeben, daß die physikalische Welterklärung gegen einen Zustand der Eindeutigkeit konvergiert, wenn sie ihn auch vorläufig noch längst nicht erreicht hat. Wenn die Konventionalisten aber vielleicht erwidern, daß es doch, wie die Geschichte oft genug gezeigt habe, immer möglich sei, eine jede Theorie zu stützen, wenn man nur genügende Hilfshypothesen hinzunehme (so auch CARNAP am Schlusse), so ist darauf zu sagen: Es ist eben füglich zu bezweifeln, daß dies so einfach „immer" möglich sei. Könnte die Sache nicht vielmehr auch so liegen und liegt sie nach allen historischen Erfahrungen nicht wirklich so, daß eine Theorie, bei der dieser Zustand erst einmal eingetreten ist, mit einer fatalen inneren Notwendigkeit gezwungen wird, immer neue und neue Hilfshypothesen heranzuholen? Macht es nicht in solchen Fällen durchaus den Eindruck, als ob sich einer in ein Dornengestrüpp verrannt hat, in das er, bei allen Bemühungen hindurchzukommen, sich nur immer rettungsloser verstrickt? Anders gegesagt: Wenn die „richtige" Erkenntnis einer konvergierenden Reihe gleicht, so gleicht die falsche einer divergierenden, in der die Summe (der Schwierigkeiten) erst langsam, dann aber rascher und rascher und schließlich über alles Maß wächst. Dieses Konvergenzkriterium stelle ich dem reinen Konventionalismus, von dem auch CARNAPS Darstellung in der Hauptsache ausgeht, entgegen. Es ist mit ihm verwandt, führt aber doch wesentlich weiter. Denn wenn nach CARNAPS Worten der richtige Sinn des Satzes, eine Theorie T_1 stimme zu gewissen Beobachtungen, eine andere T_2 dagegen nicht, der ist, daß man auf Grund von T_2 den Wahrnehmungsinhalten physikalische Vorgänge von weit komplizierterer Struktur zuordnen muß, als auf Grund von T_1, so bestreite ich dies keineswegs, füge jedoch hinzu, daß diese Kompliziertheit der Struktur bei einer solchen Theorie T_2 in jene eben geschilderte divergente Reihe ausläuft, während sie bei T_1 eine konvergente Reihe bildet. Und eben an diesem letzteren Verhalten erkennt man, daß man auf der „richtigen" Spur ist. — Ob man die eine oder die andere Auffassung exakt beweisen kann? Ich glaube nicht. Aber ich glaube, daß das Zutrauen auf eine endgültige eindeutige Lösung nach allem bisherigen wohl gerechtfertigt ist. Andererseits aber ist uns der Konventionalismus

bisher den Beweis schuldig geblieben, daß es wirklich auch nur zwei grundsätzlich verschiedene physikalische Erklärungssysteme gibt. Was er bis jetzt nach dieser Richtung vorgelegt hat, gilt immer nur für Teilgebiete und es ist (wie übrigens POINCARÉ selber in anderem Zusammenhange zugesteht) auch gar nicht abzustreiten, daß der Gegner des Konventionalismus stets die Synthese des Widersprechenden in einer höheren Einheit wird postulieren können. *B. Bavink, Bielefeld.*

4. Unterricht und Methode.

Die neuen „Meraner" Lehrpläne. Der Deutsche Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (DAMNU) hat eine Neubearbeitung der Meraner Lehrpläne vom Jahre 1905 herausgegeben, auf die hier, soweit sie den Unterricht in Physik und Chemie betreffen, kurz hingewiesen werden soll[1]).

In der Physik sind die obersten Grundsätze der Meraner Pläne beibehalten worden. Darüber hinausgegangen sind die neuen Pläne nur insofern, als sie auch für die Unterstufe des physikalischen und chemischen Unterrichts verbindliche Schülerübungen fordern und demgemäß (auch an hum. Gymnasien) auf dieser Stufe 3 wöchentliche Lehrstunden einstellen. Überdies ist die Unterstufe des physikalischen Unterrichts nach UIII und O III verlegt, wofür verschiedene beachtenswerte Gründe angeführt sind, u. a. auch die Absicht, in U II die Möglichkeit eines zusammenhängenden biologisch-chemischen Unterrichts zu schaffen, für den auf dieser Stufe (auch am hum. Gymnasium) insgesamt 5 Stunden angesetzt sind. Es kann bezweifelt werden, ob die Unterstufe des Physikunterrichts durch die Herabschiebung nicht zum „beschreibenden systemlosen Anschauungsunterricht" werden würde. Doch bietet schon diese Stufe durch Denkfragen und Denkübungen so viel Gelegenheit zur Pflege des Wirklichkeitsdenkens, daß selbst bei noch nicht hinreichender mathematischer Ausbildung der Erfolg nicht beeinträchtigt zu werden braucht — wenn nur der Lehrer selbst von der Wichtigkeit seiner Aufgabe durchdrungen ist. In den neuen Lehrplänen für die deutsche Oberschule ist übrigens die Verlegung des physikalischen Unterrichts der Unterstufe nach U III und O III bereits verwirklicht und damit die Möglichkeit zur Erprobung des Vorschlages geschaffen. Auf der Oberstufe sind an den Realanstalten die Übungen ebenfalls in den verbindlichen Unterricht eingegliedert, derart, daß in O II und U I der Physik 4, der Chemie 3 Stunden zufallen, während die O I (mit 3 bzw. 2 Stunden) von verbindlichen Übungen freibleibt. Dies hat den guten Sinn, daß auf der obersten Stufe gewisse allgemein abschließende Gegenstände das Interesse der Schüler vorwiegend in Anspruch nehmen werden. Auf der Oberstufe der hum. Gymnasien sind Schülerübungen nicht vorgesehen, sie bleiben hier wahlfreien Stunden überlassen.

Die Stoffanordnung ist im großen und ganzen dieselbe wie in den alten Meraner Plänen. Nur in Betreff der Elektrizitätslehre, über deren zweckmäßigste Lage die Ansichten noch immer auseinander gehen, ist eine wesentliche Änderung dadurch eingetreten, daß sie nach U I verlegt ist, „einerseits um ihr den Vorteil einer noch nicht durch die Nähe der Abschlußprüfung beeinträchtigten Behandlung zu geben, andererseits aber, weil Optik (als Strahlungslehre im weiteren Sinne) und kosmische Mechanik in O I geeigneter erscheinen, zu dem physikalischen Weltbild hinzuleiten, das den Abschluß des physikalischen Unterrichts bilden soll". Auch die Beziehung der Optik zu psychologischen Betrachtungen spricht dafür, dieser Anordnung den Vorzug zu geben. Für die Mechanik ist die Verteilung auf die drei Klassen der Oberstufe beibehalten worden (O II grundlegende Begriffe, U I Schwingungen, Pendelbewegung, Wellenlehre, O I Gravitationsgesetz, kosmische Mechanik). Man kann hierüber verschiedener Ansicht sein. Von anderer Seite[1]) ist die Ansicht vertreten worden, daß es besser sei, die gesamte Mechanik in der O II abschließend zu behandeln; dabei wird vorausgesetzt, daß der mathematische Unterricht in O II nicht nur die Differentialrechnung, sondern auch die für den Physiker noch wichtigere Integralrechnung in den Grundzügen darbietet. Dieser Forderung entspricht der Lehrplan des DAMNU für die Mathematik an den Realanstalten nur bezüglich der Differentialrechnung, doch könnte wohl der Integralbegriff hinzugenommen werden. Immerhin bleibt zweifelhaft, ob die Schüler dieser Stufe reif genug sind, die Definitionen der mechanischen Grundbegriffe in der exakten Form aufzunehmen, und ob nicht auch dann noch die Verteilung der Mechanik auf mehrere Stufen, die dann mehr Geschmackssache bleibt, sich empfehlen wird. Eine genauere Anpassung des Lehrplans der Mathematik an den der Physik war bei der immerhin noch in Fluß begriffenen Aufteilung der letzteren und der notwendig zu gewährenden Freiheit nicht in Aussicht genommen. Der DAMNU hat es, und wohl mit Recht, vorgezogen, den Lehrstoff der Mathematik lediglich nach Gesichtspunkten, die ihm selbst entnommen sind, anzuordnen.

[1]) Neue Lehrpläne für den math. u. naturw. Unterricht. Schriften des deutschen Ausschusses f. d. math. u. naturw. Unterricht. II. Folge. Heft 8. 45 S. Leipzig, B. G. Teubner, 1922. (GZ. 0,90). Zu 1/4 des Ladenpreises (0,225 × Teuerungszahl) zuzüglich 1 1/2 faches Porto einer Drucksache von 100 g zu beziehen von Stud.-Dir. Dr. Körner, Gronau i. Westf., Postscheck Dortmund 22525.

[1]) K. Hahn in den Unterrichtsblättern für Mathematik u. Naturwissenschaften 1923. Nr. 3/4.

Die Auswahl des physikalischen Lehrstoffes ist den Forderungen der Zeit angepaßt, es ist von einigen früher empfohlenen Gegenständen abgesehen, so vom Gravitationspotential und der Ableitung der absoluten elektrischen Einheiten, während eine maßvolle Berücksichtigung der Ergebnisse der neuesten Atom- und Elektronenforschung einbezogen ist.

In den methodischen Bemerkungen ist manches in den älteren Plänen enthaltene ergänzt oder schärfer gefaßt worden. In bezug auf die Verwendung der Mathematik wird Beschränkung auf das Notwendige gewünscht, Ableitungen wie die der Pendel- und der Linsenformel sind als entbehrlich bezeichnet, mathematische Anwendungen physikalischer Gesetze teilweise in die Mathematik verwiesen. Bei den technischen Anwendungen der Physik wird auch deren wirtschaftliche Seite der Berücksichtigung empfohlen. —

In der Chemie gehen die vorliegenden Pläne über die älteren namentlich darin hinaus, daß sie für U II, O II, U I je eine verbindliche Stunde für Schülerübungen ansetzen: dies ist für den Anfangsunterricht in U II besonders bemerkenswert, weil auch in der Chemie fortan von vornherein der Unterricht auf Übungen aufgebaut werden soll. Die eine Mehrstunde für Übungen in O II und U I ist so gedacht, daß entweder alle vierzehn Tage 2 Stunden, die dann zusammenliegen müssen, auf die Übungen verwandt werden, oder daß je 1 Chemie- und je 1 Physikstunde hintereinanderliegend abwechselnd für das eine und das andere Fach bestimmt werden. Die Übungen in der O I fallen fort aus den gleichen Gründen wie für die Physik, so daß die Zahl der Stunden, die sonst 3 beträgt, auf 2 beschränkt bleibt.

Für das hum. Gymnasium bedeutet der Lehrplan insofern einen großen Fortschritt, als nicht nur in U II 3 Stunden (neben 2 Stunden Biologie), sondern auch in U I 2 Stunden für die Chemie gefordert werden. Dadurch wird es möglich sein, die anorganische Chemie unter besonderer Berücksichtigung der durch ihr Vorkommen in der Natur oder durch ihre wirtschaftliche Verteilung wichtigsten Stoffe weiterzuführen, sowie auch einfache Belehrungen aus der organischen Chemie und der Gesundheitslehre anzuschließen; die methodischen Bemerkungen führen dies mit erfreulicher Wärme näher aus. An den Realanstalten ist die organische Chemie nach O I gelegt, doch ist auch hier betont, daß hinsichtlich der Stoffverteilung volle Freiheit bestehen solle, so daß z. B. auch die Chemie der Kohlenstoffverbindungen nach U I verschoben oder einzelne Abschnitte aus der Technik anders verteilt werden können.

Für die Mineralogie sieht der Lehrplan keine besonderen Stunden vor, die Mineralien sollen vielmehr nur im Zusammenhang mit den chemischen Verbindungen zwanglos in den Gesichtskreis der Schüler treten und namentlich auch als natürliche Rohstoffe den Ausgang chemischer Betrachtungen bilden. Die Kristallographie wird als vorwiegend stereometrisch geartet dem Mathematiklehrer in O II oder U I überlassen.

Mit großem Nachdruck ist in den methodischen Bemerkungen zum Ausdruck gebracht, daß der chemische Schulunterricht weder auf das Hochschulstudium vorbereiten, noch den üblichen Hochschulunterricht als sein Muster betrachten soll. Sein Hauptziel müsse vielmehr sein, die Schüler chemisch denken oder nach Liebigs Wort „in Erscheinungen denken“ zu lehren. Solches der Wirklichkeit zugewandte Denken wird auch dadurch unterstützt werden, daß Lehrausflüge nach technischen Betrieben in die wirtschaftliche Bedeutung der chemischen Forschung einführen. —

Aus dem Lehrplan für die Mathematik sei nur als besonders bedeutsam hervorgehoben, daß die früher gegen die Infinitesimalrechnung errichtete Schranke nunmehr gefallen ist: Mit dem Funktionsbegriff ist auf allen Stufen des Unterrichts Ernst gemacht, auch auf der Oberstufe der humanistischen Gymnasien wird die Diskussion von rationalen und trigonometrischen Funktionen mit den Mitteln der Infinitesimalrechnung in den Unterricht einbezogen. Damit ist, wenn dies nicht zu spät geschieht, auch an diesen Anstalten für die Physik ein längst gewünschtes und willkommenes Hilfsmittel bereitgestellt.

Für die neue Deutsche Oberschule (D.O.) und die Aufbauschule enthält nur der mathematische Lehrplan genauere Vorschläge. Der DAMNU hält eine stärkere Betonung der realistischen Bildung, als in den seither bekannt gewordenen amtlichen Plänen, für unbedingt erforderlich; er fordert für Physik in der Klasse U III bis O I, mit einer Unterbrechung in U II, je 3 Wochenstunden, für Chemie in U II und O II 3, in U I und O I mit Naturgeschichte vereinigt je 4 Wochenstunden. Eine Aufbauschule vom Typus der OR hält der DAMNU für undurchführbar, will vielmehr den Lehrplan im wesentlichen dem der DO angeglichen sehen.

Zum höheren Mädchenschulwesen stellt die Schrift nur einige bedeutsame allgemeine Forderungen auf, die namentlich das mangelhafte Stundenausmaß für die Naturwissenschaften am Oberlyzeum betreffen. *P.*

5. Technik und mechanische Praxis.

Zur Entwicklung der Sprengstofftechnik. Zum 70. Geburtstag von GUSTAV AUFSCHLÄGER, seit 1889 Generaldirektor der Dynamit-A.-G. vormals Alfred Nobel u. Co., Hamburg, veröffentlicht die *Zeitschrift für angewandte Chemie*[1]) eine Reihe wertvoller, die Entwicklung der

[1]) Jahrg. 36, Nr. 11, S. 65/90; 1923.

Sprengstoffindustrie seit Nobels Auftreten vom wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und technischen Standpunkt aus beleuchtender Aufsätze, zugleich mit einem vorzüglich hergestellten Bilde des Jubilars. Zunächst sei aus den Begrüßungsworten des „Vereins Deutscher Chemiker" (gez. mit Dr. W. P.) einiges herausgehoben. In der Geschichte der modernen Sprengstoff- und Pulverindustrie bildet neben der Erfindung des Dynamits die Entdeckung Nobels, daß Nitrozellulose zusammen mit Nitroglyzerin eine geeignete Grundlage zur Herstellung von Sprengstoffen und Patronen abgibt, einen Markstein. Sie bot die Möglichkeit zur Fabrikation der modernen Gelatindynamite und der in Kraftleistung noch immer unübertroffenen Sprenggelatine sowie der modernen rauchlosen Nitroglyzerinpulver. Im selben Jahre 1889 vollzog sich ein Generalkartellvertrag zwischen der Pulvergruppe, d. h. der im Pulverkartellvertrag vereinigten Pulverfabriken Deutschlands und der Sprengstoffgruppe, d. h. der in der Deutschen Union vereinigten Sprengstofffabriken. Die Verdienste AUFSCHLÄGERS liegen nicht nur auf dem organisatorischen Gebiet, sondern auch auf dem wissenschaftlich-technischen, insbesondere in der Unfallverhütung. In den Kohlenbergwerken spielen die Unfälle, die sich bei der Schießarbeit dadurch ereignen, daß dabei eine Zündung von schlagenden Wettern oder von Kohlenstaub hervorgerufen werden kann, eine große Rolle. Hier verdanken wir AUFSCHLÄGER und dem Generaldirektor MÜLLER der Cöln-Rottweil-A.G., Berlin, die wichtige Erkenntnis, daß durch Zusatz kristallwasserhaltiger Salze zu Sprengstoffen dynamitartiger Zusammensetzung jene Gefahren vermieden werden können. Hieran schlossen sich Arbeiten über den Einfluß von Korngröße und Gestaltung der nach den Ideen Nobels hergestellten modernen Nitroglyzerinpulver auf ihre ballistischen Eigenschaften. Durch seine weitere wirtschaftliche und technische Tätigkeit hat AUFSCHLÄGER wesentlich zu dem Weltruf der deutschen Sprengstoffindustrie beigetragen. Auch die Gründung der weltbekannten „Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen, G. m. b. H. Neubabelsberg" ist seiner Initiative mit zu verdanken.

Bei den weiteren acht Aufsätzen müssen wir uns aus räumlichen Gründen auf einige Bemerkungen beschränken und können nur den siebenten, von LOTHAR WÖHLER, etwas mehr berücksichtigen, da er am meisten auf den chemischen Unterricht Bezug nimmt. In Nr. 1 „Die Industrie des Nitroglyzerins seit der Jahrhundertwende", von Dr. PH. NAOUM, Schlebusch-Manfort, werden u. a. die großen Fortschritte in der Nitrierung dargelegt (Nobel nitrierte noch in offenen Steinzeugkübeln, wobei in primitiver Weise mit der Hand gerührt wurde); das alte Problem, dem Nitroglyzerin den Übelstand des leichten Gefrierens zu nehmen (es gefriert schon bei $+13^{\circ}$ C) wurde dadurch befriedigend gelöst, daß man ihm verwandte Sprengöle von ähnlicher Kraftleistung zusetzte und so Sprengölgemische erzeugte, die dem Nitroglyzerin an Energie fast gleichkamen und bei den gewöhnlichen Wintertemperaturen nicht gefroren. Die Unfallverhütung wurde dadurch gefördert, daß die Einführung der sog. unterirdischen Bauweise der Nitroglyzerinanlagen eine bedeutende Sicherung der übrigen Fabrikteile und der Umgebung für den Fall von Explosionen bewirkte.

Nr. 2, „Bedeutung der Säurewirtschaft in der Sprengstoffindustrie", von Dr. h. c. H. PAULING, Berlin, behandelt hauptsächlich die wirtschaftliche Seite der Herstellung der Sprengstoffe, den Übergang vom Bezug fertiger Säuren zu deren Selbstdarstellung in den Anlagen, während jetzt infolge des Weltkrieges und seiner technischen Errungenschaften hinsichtlich Salpetersäureerzeugung — sei es direkt oder auf dem Umwege über Ammoniak — wieder, aus Teuerungsgründen, der Bezug platzgreift.

Nr. 3 „Die Entwicklung der Frage über die Bewertung der Sprengstoffe nach ihrer maximalen Arbeitsleistung in den letzten 50 Jahren", von H. KAST, Berlin, grenzt die Begriffe Explosion und Detonation gegeneinander ab. — Detonation ist der Zustand, „der durch die mit gleichbleibender Geschwindigkeit fortschreitende chemisch-physikalische Druckwelle gekennzeichnet ist", während Explosion einen „Übergangszustand mit veränderlicher Geschwindigkeit darstellt" —, behandelt dann die Methode der Brisanzmessung und gibt auf Grund eigener Versuche genaue Angaben über die Detonationsgeschwindigkeit von Ammonsalpeter, Ammonperchlorat und den besonders wirksamen Nitrierungsprodukten der höheren Alkohole Mannit und Pentaerythrit sowie von nitriertem Hexamethylentetramin; eine auch in physikalischer Hinsicht sehr beachtenswerte Tabelle stellt dann noch den „Energieinhalt und die Arbeitsleistung" von 12 Sprengstoffen, vom Schwarzpulver bis zum Pentaerythrittetranitrat zusammen.

Aus Nr. 4 „Beitrag zur Kenntnis der isomeren Trinitrotoluole", von Prof. Dr. H. BRUNSWIG, aus der oben erwähnten Zentralstelle in Neubabelsberg, erfahren wir, daß teils durch frühere Arbeiten der Zentralstelle, teils durch Veröffentlichungen in der italienischen Literatur die sechs möglichen Isomeren nunmehr alle bekannt sind und sämtlich in der Zentralstelle hergestellt wurden, z. B. durch Nitrieren von 1, 3, 5-Dinitrotoluol das 1, 2, 3, 5-Trinitrotoluol als Hauptprodukt, und als Nebenprodukt das 1, 3, 4, 5-Trinitrotoluol. Eine Tabelle gibt von allen 6 Isomeren genaue Daten über ihr Verhalten, z. B. Schmelzpunkt, Verpuffungstemperatur u. a.

Nr. 5 „Über Hochfrequenz-Schlierenkinematographie und ihre Verwendung zur Untersuchung von Explosionserscheinungen und anderen sehr rasch verlaufenden Vorgängen", von C. CRANZ und E. BAMES, Institut f. techn. Physik der Techn. Hochschule Berlin, beschäftigt sich nicht mit den Sprengstoffen selbst, sondern wendet

auf einen verhältnismäßig einfachen Vorgang, die mittelst elektrischer Zündung hervorgerufene Explosion des aus einem Bunsenbrenner strömenden Leuchtgas-Luftgemisches, die Schlierenkinematographie an. Letztere wurde wohl zuerst von A. Miethe ausgeführt, der den Ausbruch von Sonnenprotuberanzen kinematographierte, und zwar mit der in der gewöhnlichen Kinematographie üblichen Bilderfolge von 17 bis 20 Teilbildern in der Sekunde. Die Verff. dagegen verwandten mit Hilfe des CRANZschen Ballistischen Kinematographen[1]) und einer Wechselstrommaschine der Firma H. Boas eine Bilderfolge von 2500 Teilbildern je Sekunde. In acht Momentbildern wird der Verlauf der Erscheinung höchst anschaulich wiedergegeben; danach war z. B. eine Flammenhöhe von 4,0 cm in 0,0041, solche von 15,6 cm in 0,0545 Sek. erreicht. Die ganze, genau angegebene Versuchsanordnung dürfte auch den Physiker interessieren. Die Verff. stellen den Sprengstoffchemikern anheim zu entscheiden, ob diese Hochfrequenz-Schlieren-Kinematographie für ihre Untersuchungszwecke Verwendung finden kann. Das Ergebnis bildet einen Beitrag zur Theorie der Bunsenflamme, die 1905 von F. Haber[2]) und neuerdings besonders eingehend von H. Mache[3]) behandelt wurde.

Nr. 6 „Über die Zersetzung von Explosivstoffen", von Prof. Dr. O. POPPENBERG, aus dem Sprengstoff-Laboratorium der Techn. Hochschule Berlin-Charlottenburg, untersucht kritisch, vom Standpunkte der Thermodynamik aus, einige Angaben über die bei der Detonation von Sprengstoffen entstehenden Produkte und geht dann näher auf die Zersetzung des Tetranitroanilins sowie auf die Entstehung von Acetylen und Blausäure ein. Wir müssen bezüglich der lehrreichen Einzelheiten, sowie der durchgeführten Sprengversuche mit Pikrinsäure, Trinitrotoluol und Trinitrobenzol auf die Abhandlung selbst verweisen.

In Nr. 8 „Über die technische Umwandlung nitroser Gase in Salpetersäure und das Explosionsunglück in Bodio", von E. BERL, aus dem chemisch-technischen und elektrochemischen Institut der Techn. Hochschule zu Darmstadt, sind zunächst die Reaktionen angegeben, nach denen die entweder nach dem Luftverbrennungsverfahren oder nach dem Ammoniakverfahren erzeugten Stickstoffoxyde in Salpetersäure übergeführt werden:

$$2\,NO + O_2 = N_2O_4;$$
$$N_2O_4 + H_2O = HNO_3 + HNO_2;$$
$$3\,HNO_2 = HNO_3 + 2\,NO + H_2O.$$

Die von verschiedenen Autoren aufgestellte Bildung des Stickstoffperoxyds in zwei Stufen, mit dem Zwischenprodukt N_2O_3, (nämlich $2\,NO + {}^1/_2\,O_2 = N_2O_3$; $N_2O_3 + {}^1/_2\,O_2 = N_2O_4$) wird abgelehnt. Die Überführung in Salpetersäure hat jedoch mit beträchtlichen technischen Schwierigkeiten zu kämpfen. Zur raschen Erzielung einer möglichst hochprozentigen und möglichst reinen Salpetersäure wurde, wie Raschig schon 1922 eingehend berichtete[1]), in den Anlagen von Zschornewitz und von Bodio eine fein erdachte Arbeitsweise angewandt, die in einem Ausfrieren des bei der Oxydation des Stickoxyds entstandenen Stickstoffperoxyds bestand, das sich in fester Form durch Oberflächenkühlung mit Hilfe von organischen Substanzen, nämlich von Toluol (Zschornewitz) oder von Benzin (Bodio) abschied. Das feste Stickstoffperoxyd wurde geschmolzen, das flüssige als hochprozentiges Gas vergast, und mit verhältnismäßig geringen Luft- und Wassermengen eine ca. 60%ige Salpetersäure erzeugt, die sich durch einen hohen Grad von Reinheit auszeichnete. Aber beide Fabriken sind durch Explosion vollständig in Trümmer gelegt worden. Gemische von Stickstoffperoxyd mit *C*- und *H*-haltigen Substanzen gehören, wie schon früher erkannt war, zu den sprengkräftigen Explosivstoffen, und die Tiefkühlung konnte nicht verhindern, daß die Masse (es handelte sich um rund 6000 kg eines Gemisches von 4500 kg Stickstoffperoxyd und 1500 kg Benzin) zur Sommerszeit, vorerst nur in einzelnen Teilen, sich bis zum Zerfallspunkt erwärmte. Der Verf. gibt zum Schluß die Resultate seiner Versuche über die Lebensdauer von flüssigen Stickstoffperoxyd-Benzingemischen bei verschiedenen Temperaturen.

Nr. 7 schließlich, „Miszellen aus meiner explosivchemischen Tätigkeit der letzten Jahre", von LOTHAR WÖHLER, Techn. Hochschule Darmstadt, geht aus von der Ammonalexplosion in Stolberg, Rgbz. Aachen (am 12. April 1920), durch die die bekannte Düngerfabrik Schippan u. Co. gänzlich vernichtet, ein Erdtrichter von 30 m Durchmesser und 6 m Tiefe gerissen, die benachbarte große chemische Fabrik, Aachener „Rhenania", und andere Fabriken, sowie der Stolberger Bahnhof stark beschädigt, vor allem aber 26 Menschen getötet und viele verletzt wurden. Der Explosion liegt ein lehrreicher Sachverhalt zugrunde. 4000 Zentner Ammonalsprengkörper für 15 cm-Geschosse waren im besetzten Gebiet den Amerikanern in die Hände gefallen, und eine größere, von Sprengstoffen nichts verstehende Handelsfirma hatte die Verarbeitung auf „Kunstdünger" zum Gegenstand geschäftlicher Unternehmungen gemacht. Das im Kriege zur Granatenfüllung benützte Ammonal wechselte in der Zusammensetzung und enthielt etwa (in Proz.) 75 – 35 Ammonsalpeter, 10—25 Aluminiumgrieß, 12—40 Trinitrotoluol, 3 – 0 Kohle. Bei der Verarbeitung sollten der zum Anfeuern dienende Kopf der Sprengkörper, bestehend aus

[1]) Eingehend beschrieben in der Broschüre von B. Glatzel „Elektrische Methoden der Momentphotographie", vgl. d. Zeitschr. 28, 340, sowie die Abbildungen in dem Bericht von B. Glatzel d. Zeitschr. 26, 384.

[2]) Thermodynamik technischer Gasreaktionen S. 282 ff.

[3]) Die Physik der Verbrennungserscheinungen, Leipzig, Veit, 1918, S. 25—54.

[1]) Zeitschr. f. angew. Chem. 35, 117.

Trinitrotoluol (der sog. Trikopf), ebenso die der Füllung in besonderen Hülsen einverleibten Rauchentwickler, bestehend aus rotem Phosphor, entfernt werden, wurden aber z. T., besonders die hartgewordenen Phosphorkörper, darin belassen, während das eigentliche Ammonal mit Hämmern in faustgroße Stücke zerschlagen und ein Gemenge von Sand, Steinsalz, Gips und Chlorkalium hinzugefügt wurde. Diese Masse wurde, ohne Prüfung auf Explosivität, verfrachtet, und es wurde mit Hilfe eines belgischen Offiziers, der außerdienstlich sich in umfangreichen Schiebungen von Düngemitteln über die belgische Grenze betätigte, versucht, die beiden später zur Explosion gekommenen Waggons über die Grenze zu schaffen. Die Wucherabwehrstelle in Aachen beschlagnahmte sie aber und stellte sie dem Aachener Lebensmittelamt zur Verfügung. Dieses bat die erwähnte Düngerfabrik um die Gefälligkeit, den grobstückigen „Kunstdünger" zur sachgemäßen Verwendung zu zerkleinern. Der Chemiker der Fabrik ließ die Masse, in Unkenntnis ihrer Gefährlichkeit, nach Herauslesen etlicher Phosphorhülsen, durch eine Kreuzschlagmühle gehen. Nach zweiwöchiger Lagerung sollte sie auf Weisung der Stadt wieder verladen und den Konsumenten zugeführt werden — ein Teil, 20 Zentner, war schon mit Spitzhacke und Schaufel von dem verkrusteten Haufen abgelöst und mit Schubkarren in einen Eisenbahnwagen befördert worden —, da entfernte sich der Chemiker, um in einem nahen Geschäft Zigarren zu kaufen; nach kaum zehn Minuten trat die vernichtende Explosion ein. Die 20 Zentner in dem Wagen blieben erhalten. — Wöhler hält es für ausgeschlossen, daß die Arbeiter in Abwesenheit des Chemikers einen Sprengschuß angesetzt haben sollten und sucht die Ursache im Material, das von ihm aus der üblichen, vor der Abbeförderung entnommenen amtlichen Probe eingehend analysiert wurde. Diese enthielt u. a. 5% Trinitrotoluol und 0,08% roten Phosphor; an der ursprünglichen körnigen Substanz ließen sich noch deutlich das Ammonal und die Klümpchen roten Phosphors und Trinitrotoluols erkennen. Nach Abzug von Sand, Wasser u. a. kam man zu einem Körper, der 40% der Masse ausmachte und der prozentisch aus 66,5 Ammonsalpeter, 19 Aluminium, 12,5 Trinitrotoluol und 2,0 Torfkohle bestand, also ein Ammonaltyp war. Der Verf. hatte schon früher gezeigt, daß ein Explosivstoff um so empfindlicher ist, in je kleinerer Schichtdicke er vom Schlag getroffen wird. Er hält die Bedingungen zu einer Explosion bei der Bearbeitung mit Spitzhacke auf Steinboden und bei der Gegenwart von rotem Phosphor und scharfkantigem Sand für gegeben. — Die Nutzanwendung ist zweifach, objektiv und subjektiv. Objektiv ist daraus zu lernen, daß die Umwandlung von Sprengstoffen in Kunstdünger nur bewährten Sprengstofffabriken konzessioniert werden darf, die durch Versuche die nötigen Vorsichtsmaßregeln feststellen können. Es ist auch ein Unterschied in der Gefährlichkeit eines Sprengstoffes bezüglich des Transportes, der Lagerung und der Handhabung. Der Transport leicht entzündlicher Treibmittel verlangt trotz ihrer großen Empfindlichkeit gegen Flammenzündung bei weitem nicht die Vorsichtsmaßregeln, wie z. B. das gegen Schlag und Erwärmung sehr unempfindliche Trinitrotoluol, weil dieses bei einem Brande zu verheerender Detonation führt, die Treibmittel aber nur lokale Wirkungen erzeugen. So verbrannten jüngst zwei Waggons rauchschwaches Röhrenpulver infolge harten Stoßes auf den Betonboden in Kelsterbach, einer Munitionszerlegungsstelle bei Frankfurt a. M., die von der Bevölkerung als „Hölle von Kelsterbach" bezeichnet wird und in der die unbrauchbaren Geschosse der ganzen Entente durch deutsche Arbeiter und Arbeiterinnen, leider mit sehr viel Opfern an Leib und Leben, nutzbar gemacht werden müssen (!). Nur Riesenstichflammen traten auf, in der nächsten Umgebung alles Organische, Mensch, Tier und Pflanze, verkohlend, aber keine Explosion und daher auch, wie WÖHLER feststellte, keinerlei Sprengwirkung. Wie in Oppau der Ammonsulfatsalpeter als Sprengstoff sich erwies, so ist auch der Stoff der Stolberger Katastrophe, trotz des gerichtlichen Schlusses, daß „der Stoff zwar explosibel geblieben war, aber der Sprengfähigkeit entbehrte", tatsächlich ein Sprengstoff gewesen, „wie einfache Versuche im Bleiblock und unter dem Fallhammer dies auch bestätigten, und es vorher hätten lehren können und müssen". Subjektiv aber zeigt sich WÖHLER von neuem „der Wert explosivchemischer versuchlicher Erfahrung für die Ausbildung unserer Chemiker, nicht nur im Interesse der Sprengstoffchemie selbst", sondern weil dieser anerzogene Umgang mit Explosivstoffen viele Unfälle in Laboratorien und Hörsälen und manche auch in der Technik vermeidbar machen würde. Kein Glied der Chemie ist so sehr auf versuchliche Erfahrung angewiesen, wie das der Explosivstoffe. Sowohl die hohe Temperatur der Vorgänge, und als deren Folge ihre große Geschwindigkeit, wie der hohe Druck der reagierenden Stoffe macht hier die Sicherheit jeder theoretischen Extrapolation auf Grund gewöhnlicher verfolgbarer Reaktionen unverhältnismäßig gering". In der Schulchemie wird es sich, wie Referent hinzufügen möchte, im wesentlichen um Warnungen beim Umgang mit Schießwaffen, unterstützt durch einige anschauliche und durch Schutzwand hinreichend gesicherte Demonstrationsversuche mit einzelnen Explosivstoffen handeln, auch um Warnungen vor der Herstellung von Gemischen leichter zugänglicher Stoffe, wie Kaliumchlorat und Schwefelpulver; wichtiger noch ist hier ein genaueres, durch Versuche und Berechnungen belebtes Eingehen auf die im Haushalt mögliche Explosionsgefahr von Leuchtgas-Luftgemischen. *O.*

Transformatoren für Projektionsglühlampen. Zur Einführung sei an ein bekanntes Beispiel aus der Glühlampentechnik erinnert:

Schaltet man zwei Lampen von etwa 100 Volt 1 Amp. in Reihe, so gebraucht man im ganzen 200 Volt 1 Amp.; hingegen bei Parallelschaltung 100 Volt 2 Amp. Denkt man sich für jeden der beiden Fälle die Leuchtfäden in einer Birne vereinigt, so hat man einmal einen doppelt so langen, im anderen Falle einen doppelt so dicken Faden wie bei einer einfachen Lampe, in jedem Falle aber eine Lampe, die 200 Watt verbraucht und dafür eine bestimmte Lichtwirkung, z. B. 300 Kerzen, leistet.

Wenn es hiernach für die Leistung einer Lampe lediglich auf den Wattverbrauch, nicht aber auf die Art, wie das Produkt „Watt" in seine Faktoren zerlegt ist, ankommt, so gilt aus technischen Gründen dieser Satz doch nur in erster Annäherung. Speziell für Lampen zu Projektionszwecken erweist sich eine niedrige Spannung als vorteilhaft gegenüber der hohen. Denn man hat zu beachten:

1. Bei kurzem, dicken Leuchtfaden ist die Leuchtfläche klein und es kann folglich auch die Optik des Projektions- bzw. Kinoapparates klein gewählt werden.

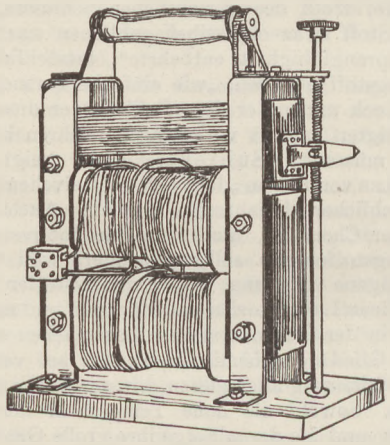

Fig. 1.

2. Der kurze, dicke Leuchtfaden ist sehr unempfindlich gegen Stöße und Erschütterungen und auch, wenn man ihn nicht bewegt, kann er viel stärker belastet werden als der dünne Faden hochvoltiger Lampen.

Dies erhellt aus folgenden Beispielen, die sich auf Osram-Projektions-Lampen beziehen:

Watt	Spannung in Volt	Maximale Lichtstärke in HK	Leuchtende Fläche ca. mm	HK für 1 mm²
200	20	400	6 · 8	8,3
	50	340	8 · 10	4,3
	220	280	15 · 20	0,9
1000	35	2600	14 · 15	12,4
	50	2600	17 · 17	8,9
	220	1800	20 · 30	3

Die hierdurch nahegelegte Maßnahme, niedrigvoltige Lampen zu benutzen, läßt sich beim Anschluß an eine Gleichstromzentrale nicht in einfacher und wirtschaftlicher Weise anwenden, wohl aber bei Wechselstrom. Vorteilhaft bedient man sich hierbei eines besonders konstruierten Transformators, der durch eine Reguliervorrichtung ein langsames Anlassen der Lampen, sowie ein genaues Innehalten der gewünschten — normalen oder auch Über- oder Unterspannung — ermöglicht, unabhängig von etwaigen Netzschwankungen. Solche Transformatoren sind in der letzten Zeit konstruiert worden[1]). Die Spannungsregulierung erfolgt bei ihnen durch einen mittels Schraube verstellbaren magnetischen Nebenschluß, also in durchaus kontinuierlicher Weise. Dies ist in der Abbildung auf der rechten Seite ersichtlich.

Als Beispiele seien zwei Typen ausgewählt, deren technische Daten die folgenden sind:

Netzspannung	Lampenspannung	Watt	I. Strom	II. Strom	Gewicht in kg
110	20	300	2,5	15	13
220	1000	1000	4,8	28,6	30

P. Spies.

[1]) Zu beziehen durch die Medic. techn. Comp. Berlin SW, Charlottenstr. 95.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Kausalgesetz und Willensfreiheit. Öffentlicher Vortrag, gehalten in der preußischen Akademie der Wissenschaften am 17. Februar 1923. Von Max Planck. 52 S. Berlin, Julius Springer, 1923. GZ. 1,5.

In dieser dem Andenken an Heinrich Rubens gewidmeten Schrift will der Verfasser das vielumworbene Problem vom Standpunkte des Naturforschers erörtern. Er stellt fest, daß das Kausalgesetz nicht zu den Denknotwendigkeiten gehört, daß es sich vielmehr um eine Hypothese metaphysischer Art handle, mit der aber die Frage nach der Gesetzlichkeit im Weltgeschehen aufs engste verknüpft sei. Er nimmt die Gültigkeit des Gesetzes insbesondere für die Physik nicht bloß in der sichtbaren Welt, sondern entgegen gewissen neueren Auffassungen auch im Gebiet des unsichtbar Kleinen in Anspruch. Aber jeder kausalen Betrachtung unzugänglich sei das eigene Ich, es sei ausgeschlossen, daß wir jemals allein durch Überlegungen kausaler Art zu einer Einsicht in die Motive unserer zukünftigen Handlungen gelangen könnten, obwohl wir uns hintennach klarmachen können, welche

Motive uns zu einer Handlung veranlaßt haben. Mit Ausblicken auf ethische und religiöse Fragen schließt die Rede, eine Grenzüberschreitung ins Persönliche vollziehend, wofür die Leser dem Verfasser dankbar sein werden. *P.*

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften". I. Band. Mit 35 Abbildungen. 403 S. Berlin, Julius Springer, 1922. GZ. 12,5, geb. 14.—.

Der Plan der vorliegenden Veröffentlichung ist ein überaus glücklicher, sie soll für eine Reihe im Vordergrund der Forschung stehender Probleme einen zusammenfassenden Überblick der neuesten Fortschritte geben. Dadurch tritt das Unternehmen weit hinaus über den Rahmen bloßer Berichte und gewinnt vielmehr etwas von der Frische und Ursprünglichkeit der Forschungsarbeit selber. Der vorliegende starke Band enthält folgende Einzelabhandlungen, fast durchweg von Forschern herrührend, die auf den behandelten Gebieten selbst in erster Reihe tätig sind: Die Fortschritte der Astronomie im Jahre 1921 (R. Prager), die Relativitätstheorie (H. Thirring), Statistische Mechanik (P. Hertz), Kritische Zustände rasch umlaufender Wellen (R. Grammel), der Nernstsche Wärmesatz (A. Eucken), Wärmestrahlung (F. Henning), Kontaktpotential (A. Coehn), Chemische Kinetik, Photochemie (M. Bodenstein), Elektrolytische Dissoziation (Frdr. Auerbach), Röntgenstrahlenspektroskopie (M. v. Laue), Kristallstruktur (A. Johnsen), Atom- und Spektraltheorie (G. Wentzel), Bandenspektren (A. Kratzer), Lichtelektrische Wirkung und Photolumineszenz (P. Pringsheim), das periodische System der Elemente (F. Paneth). Einen Auszug aus einem besonders interessanten dieser Aufsätze (A. Coehn) finden die Leser im vorhergehenden Heft der Zeitschrift. *P.*

Isotope. Von F. W. Aston. Autorisierte Übertragung ins Deutsche von Dr. Else Norst-Rubinowicz. Mit 21 Figuren im Text, 4 Tafeln und einem Bildnis des Verfassers. 163 S. Leipzig, S. Hirzel, 1923. GZ. 3, geb. 5.

Bei der Schwerzugänglichkeit der ausländischen Zeitschriften ist es sehr zu begrüßen, daß solche Zusammenfassungen der wissenschaftlichen Arbeit auf den im Vordergrund des Interesses stehenden Gebieten erscheinen wie die vorliegende oder kürzlich die von Millikan. Ein Buch von ungemein fesselndem Inhalt, in dem der Verfasser über seine eigenen Arbeiten in Zusammenhang mit denen anderer Forscher berichtet; er befaßt sich vorwiegend mit den nicht radioaktiven Isotopen, deren Unterscheidung hauptsächlich durch den „Massenspektrographen" möglich geworden ist. Man vergleiche den Bericht in Heft 2 dieses Jahrgangs, S. 125, wo man auch die Hauptisotopen zusammengestellt findet. Der Verfasser stellt dar, wie durch die Entdeckung der Ganzzahligkeit des Atomgewichts jetzt auch eine Durchführung der Proutschen Hypothese von der Zusammengesetztheit aller Elemente aus Wasserstoffatomen möglich geworden ist. Auch Moseleys „klassische" Arbeit von 1913 gewinnt in diesem Zusammenhange erst ihre volle Bedeutung. Vor allem aber treten auch die Hypothese über die Entwicklung der Elemente jetzt in den Vordergrund, unter denen eine bereits von Crookes aufgestellte die bekannteste ist. Auch die Idee einer Vernichtung der Masse durch Verwandlung in Energie beginnt greifbare Gestalt anzunehmen und für eine fast unbegrenzte Erhaltung der Sonnentemperatur ergeben sich neue wissenschaftliche Argumente. Der Begriff des Elements endlich scheint eine neue Definition zu fordern; Aston entscheidet sich dafür, ihn ausschließlich mit der Vorstellung der Atomnummer zu verknüpfen, also das Element als eine Substanz mit bestimmten chemischen und spektroskopischen Eigenschaften aufzufassen, die eine Mischung von Isotopen sein oder auch nicht sein kann. Das Schlußkapitel behandelt die verschiedenen Methoden der Trennung der Isotopen voneinander, unter denen die durch Diffusion sich als die wirksamste erweist. Ein Anhang bringt neue Ergebnisse von Dempster, aus denen hervorgeht, daß auch *Zn* (65, 37) aus vier Isotopen 64, 66, 68 und 70 besteht, während *Ca* (40) ein einfaches Element, isobar mit Argon, zu sein scheint. *P.*

Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie. Von Peter Pringsheim. Zweite Auflage. 228 S. Mit 33 Abbild. Berlin, Julius Springer, 1923. G.-Z. 8,5.

Die 1. Auflage dieses Büchleins wurde in dieser Zeitschrift 35, 95 (1922) besprochen. Daß ihr so rasch eine zweite gefolgt ist, legt einerseits Zeugnis von dem großen Interesse ab, das gegenwärtig den Fluoreszenz- und Phosphoreszenzerscheinungen entgegengebracht wird, andererseits aber liegt darin die beste Anerkennung, die die mühevolle Arbeit des Verfassers finden konnte. Die äußere Einteilung ist die gleiche geblieben, der Umfang jedoch um 26 Seiten gewachsen, um der durch neue Publikationen notwendig gewordenen Vergrößerung des am Schluß des Buches befindlichen Literaturverzeichnisses um 61 Arbeiten Rechnung zu tragen. Auf Grund dieser neueren Untersuchungen wurden gegenüber der 1. Auflage ausführlicher behandelt „die Existenz von Hg_2-Molekülen im unerregten Quecksilberdampf und ihre Bedeutung für die Bandenfluoreszenz; die stets vorhandene Polarisation der Resonanzstrahlung; die Notwendigkeit großer Lichtkonzentration für die von Perrin untersuchten photochemischen Wirkungen, im Anschluß an die nun ein besonderer Abschnitt über photochemische Lumineszenztheorien in das VI. Kapitel aufgenommen wurde." Ferner wurden erheblich erweitert das VII. Kapitel (Lenardsche Erdalkaliphosphore) sowie das IX. Kapitel (Fluoreszenz organischer Verbindungen), letzteres durch einen Bericht über Tiedes Borsäurephosphore. Durch diese Ergänzungen bereichert gibt Prings-

heims Buch einen vollständigen Überblick über das Gesamtgebiet der Fluoreszenz- und Phosphoreszenzerscheinungen, das nicht nur durch die neuere Atomtheorie eine tiefdringende Klärung gefunden hat, sondern auch seinerseits verheißungsvolle Wege zur Erforschung des Atom- und Molekülbaus weist. *Harry Schmidt.*

Einführung in die Ionen- und Elektronenlehre der Gase. Experimentalvorlesungen von Dr. H. Greinacher, Prof. a. d. Universität Zürich. 121 S. mit 64 Abbildungen. Bern, Paul Haupt (Akad. Buchhdlg. vorm. Max Drechsel), 1923. Grundpreis M. 4.—.

Das Buch ist die Wiedergabe von 15 Vorlesungen, die der Verfasser im Winter 1921/22 an der Universität Zürich gehalten hat. Es enthält keine populäre Darstellung, sondern eine genaue Übersicht über die Ergebnisse der Forschung und die Methoden ihrer Gewinnung, im engen Anschluß an exakt theoretische Betrachtungen, ohne die die Versuche zum Teil in der Luft schweben würden. Die gebotene Übersicht ist um so beachtenswerter, als der Verfasser selbst sich auf diesem Gebiet vielfach betätigt hat. Einige der Versuche werden auch bei einer schulmäßigen Behandlung des Gegenstandes Verwendung finden können, so etwa der Versuch über die Thermoionisierung in einer Glühdrahtlampe. Die Hauptabschnitte des Buches erstrecken sich auf: Gesetze der Gasionen im allgemeinen, Leitfähigkeit der Flammengase, Ionisierung durch hohe Temperatur, Vorgänge in Elektronenröhren, lichtelektrischer Effekt. Gelegentliche Hinweise auf technische Anwendungen und auf Naturvorgänge tragen zur Belebung der Darstellung bei. Unter den Abbildungen lassen die photographischen Wiedergaben gehäufter experimenteller Vorrichtungen viel zu wünschen übrig. *P.*

Röntgenstrahlen, Radium und die Materie. Von Erich Marx. (Zellenbücherei Nr. 68). Mit 6 Abbildungen, 81 S. Leipzig, Dürr und Weber m. b. H., 1923. GZ. 1.50.

Trotz der nicht geringen Zahl populärer Darstellungen dieses Gebietes kann auch das vorliegende Büchlein noch als eine willkommene Einführung empfohlen werden. Der Verfasser, als Herausgeber des Handbuchs der Radiologie wie als Forscher bekannt, gibt nicht nur Resultate, sondern führt die Probleme selbst in ihrer natürlichen Folge und der Art, wie sie angegriffen worden sind, in fesselnder und sachlich eindringender Weise vor. Man spürt überall, daß hier ein mitten in der Wissenschaft stehender Mann, der die ganze Entwicklung mit durchlebt hat, aus der Fülle reicher Erfahrung zu dem Leser spricht. Er beginnt mit den Kathodenstrahlen und würdigt hierbei auch namentlich die Verdienste P. Lenards; er endet mit einem Kapitel über den Aufbau der Materie und die Isotopie. Im Hinblick darauf, daß das Atom eine Art von Planetensystem darstellt, vergleicht er Rutherford mit Kopernikus, insofern er das erste Modell eines solchen Systems entworfen hat, Moseley mit Kepler in anbetracht seines quantitativen Gesetzes, daß die Schwingungszahl der charakteristischen Röntgenstrahlung dem Quadrat der Kernzahl und damit der Energie des Atoms proportional sei, Planck und Bohr mit Newton, insofern sie die Grundlagen für eine mathematische Theorie geschaffen haben, die die Eigenschwingungen der Atome „mit einer die astronomische Genauigkeit übertreffenden Präzision“ zu berechnen ermöglicht hat. *P.*

Der Feinbau der Materie. Von Adolf Kistner. (Wissen und Wirken. Einzelschriften zu den Grundfragen des Erkennens und Schaffens. Band 6/7. 130 S. und 3 Tafeln. Karlsruhe i. B., G. Braun, 1923. GP. 2.

Die Schrift hat vor manchen ähnlichen den Vorzug, daß sie streng ontwickelnd zu Werke geht und den Leser von Problem zu Problem in nicht bloß historischer, sondern auch gedanklicher Folge führt, so daß Verknüpfungen und Zusammenhänge deutlich hervortreten. Phantastische Übertreibungen sind vermieden, die Grenze zwischen Möglichem und Tatsächlichem wird streng eingehalten. Trotz Vermeidens aller mathematischen Ableitungen führt der Verfasser den Leser doch bis zu den modernen Auffassungen des Atombaus und der Atomumwandlungen. Zum Schluß wurden auch die Fragen der Valenz, der Subelektronen, des Urstoffs berührt und mit der Ablehnung einer technischen Verwertung des Atomzerfalls geschlossen. Drei Tafeln enthalten eine alphabetische Aufzählung der Elemente mit Ordnungszahlen und Atomgewichten, das periodische System in der üblichen Gliederung und dasselbe noch einmal mit Anordnung nach den Ordnungszahlen. Den 19 gut ausgeführten Abbildungen hätte wohl noch Wilsons Darstellung der Bahnen der α-Strahlen hinzugefügt werden können. *P.*

Der Werdegang der Entdeckungen und Erfindungen. Herausgegeben von Friedrich Dannemann. 1. Heft: Die Anfänge der experimentellen Forschung und ihre Ausbreitung. Von F. Dannemann. 56 S. mit 13 Abb. G. Z. 0,70. — 3. Heft: Elektrische Strahlen und ihre Anwendung (Röntgentechnik). Von Franz Fuchs. 35 S. G.-Z. 0,80. München-Berlin, R. Oldenbourg, 1922.

Das Unternehmen knüpft an die Sammlungen des Deutschen Museums in München und ähnlicher Anstalten an, es soll in erster Linie wohl den Besuchern der Sammlungen und damit einem weiteren Laienkreise einige Einblicke in die Geschichte der Entdeckungen und Erfindungen erschließen. Mit dieser Einschränkung stellt Heft 1 ein recht lesbares Schriftchen dar, in dem namentlich über Galilei, Torricelli, Huygens, Gilbert und den „ersten großen deutschen Experimentator“ Otto v. Guericke Mitteilungen gemacht werden. Als „Galileis Uhr“ wird ein von diesem konstruiertes einfaches Zählwerk abgebildet, von der

durch Viviani bekannt gemachten Konstruktion einer wirklichen Pendeluhr ist nichts gesagt. Daß Mariotte nach Boyle das Gesetz der letzteren selbständig gefunden habe, darf billig bezweifelt werden. Für den Unterricht und für Schüler kommen besser des Herausgebers ausführlichere Schriften in Betracht. — In Heft 3 werden die elektrischen Entladungsformen, dann Kathoden- und Röntgenstrahlen beschrieben, eine gedrängte Darstellung der Theorie gegeben und schließlich die Anwendungen und die Technik der Röntgenstrahlen bis zu Laues Entdeckung der Interferenz der Röntgenstrahlen und zur Coolidge-Röhre behandelt. Auf geringem Raum ist hier ein sehr reiches Material mit Sachkenntnis und großem Geschick zusammengestellt und bietet auch dem Kenner des Gebietes eine interessante Übersicht. Die auf diesem Gebiet besonders reiche Sammlung des Deutschen Museums wird überall herangezogen.

In zwei weiteren Heften ist die Entwicklung der chemischen Großindustrie (Nr. 5) und die Entwicklung der Chemie zur Wissenschaft (Nr. 9) dargestellt. *P.*

Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers. Von ERWIN MADELUNG. (Die „Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen". Bd. IV.) Berlin, Julius Springer, 1922. XII und 247 S. 20 Abbild. 16 × 24 cm. GZ. geh 8,25, geb. 10.

Ein theoretisches Gegenstück zu dem bekannten Lehrbuch der praktischen Physik von Kohlrausch zu schaffen, war das Ziel, das dem Verfasser beim Schaffen des Buches vorgeschwebt hat. Der Wurf ist ihm im ganzen gut gelungen. Ein Nachschlagebuch für Physiker ist entstanden; mathematische Beweise sind weggelassen, höchstens angedeutet. Es werden nur Definitionen der Grundbegriffe, Ansatzbildungen und Ergebnisse gegeben, gerade das, was der Physiker unbedingt nötig hat. Im ersten (mathematischen) Teil werden alle für die Physik wichtigen Gebiete der Mathematik behandelt: Algebra, Funktionen, Reihen, Differential- und Integralgleichungen, Transformationen, Vektorrechnung (auch Tensoren!), Wahrscheinlichkeitsrechnung. Der zweite (physikalische) Teil enthält Mechanik, Elektrizitätslehre, Relativitätstheorie, Thermodynamik. Hier findet der Physiker in gedrängtester Form, was er sich sonst oft mühsam aus mathematischen Schriften zusammensuchen muß.

Ein Mangel ist es meiner Meinung nach, daß die Planck-Bohrschen Quantentheorien gar nicht erwähnt sind. Es entspricht das nicht ihrer außerordentlich großen Bedeutung für die moderne Physik. Zweierlei noch möchte ich hervorheben: Einmal könnte das alphabetische Verzeichnis bei einem Nachschlagewerk sehr viel ausführlicher sein; und dann würden sicherlich manchem Leser ausführlichere Literaturangaben (z. B. über mathematische Beweise, über physikalische Originalarbeiten usf.) willkommen sein. Das Buch hat aber, das will ich noch einmal betonen, als Ganzes sehr große Vorzüge. Es ist erstaunlich, was Verf. alles auf dem engen Raum bringt. Gerade wegen seiner bei aller Kürze so großen Reichhaltigkeit wird das Buch auch vielen Lesern dieser Zeitschrift gute Dienste leisten können, zumal da ganz vorzügliche klare Abbildungen an vielen Stellen das Verständnis erleichtern. *Ernst Lamla.*

Theorie der Differentialgleichungen. Von Dr. LUDWIG BIEBERBACH. („Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen." Bd. VI.) Mit 19 Textfiguren. Berlin, Julius Springer, 1923. 319 S. GZ. 10. geb. 11,5.

Diese Vorlesungen erstrecken sich auf das Gesamtgebiet der gewöhnlichen und der partiellen Differentialgleichungen, sie sollen in die Probleme, den Geist, die Methode und die Ergebnisse der Theorie einführen. Die Beziehungen zur Physik treten mehrfach hervor, so bei den gewöhnlichen D.-G. 2. Ordnung die Behandlung der Kettenlinie, bei den partiellen D.-G. 1. Ordnung die Integration der Hamiltonschen Gleichung, bei den hyperbolischen D.-G. das Problem der schwingenden Saite, bei den parabolischen D.-G. die Randwertprobleme der Wärmeleitung im linearen begrenzten und unbegrenzten Leiter. Auch dem Theoretiker der Physik wird das Buch von Nutzen sein. *P.*

Über den Bildungswert der Mathematik. Ein Beitrag zur philosophischen Pädagogik. Von Dr. WILHELM BIRKEMEIER. *(Wissenschaft und Hypothese. Bd. 25.)* 191 S. Leipzig, B. G. Teubner. 1923. GZ. 4,5, geb. 5,—.

Die Beziehung der Mathematik zu den Grundproblemen der Bildung überhaupt darzulegen ist der Zweck des Verfassers. Er behandelt daher in einer Einleitung zuvörderst die Begriffe Bildung, Bildungswert und Bildsamkeit, geht dann ausführlicher auf das Wesen der mathematischen Erkenntnis ein, und wendet sich danach erst dem eigentlichen Thema zu, das er mit gründlicher Kenntnis der Literatur und philosophischer Vertiefung erörtert. Vom Standpunkt unserer Zeitschrift aus interessieren namentlich die Beziehungen der Mathematik zur Physik und Chemie; diese werden mit Sachkenntnis, wennschon nur kurz, auseinandergesetzt, wobei einerseits die formale Vollendung des mathematischen Systems für die Physik als „ewige Aufgabe" bezeichnet, andrerseits aber auch die Befruchtung der Mathematik durch physikalische und chemische Probleme ins rechte Licht gerückt wird. *P.*

Lehrbuch der Physik. Von Dr. L. GRAETZ, Professor an der Universität München. 5. verb. Aufl. Mit 285 Abb. 521 S. Leipzig u. Wien, Franz Deuticke, 1923. GZ. 12,5.

Das beliebte Lehrbuch ist wesentlich für Studierende an Hochschulen bestimmt, denen es weniger auf Vertiefung als auf eine umfassende Übersicht über das ganze Gebiet ankommt und

die nur geringen mathematischen Anforderungen gewachsen sind. Die neue Auflage berücksichtigt auch die jüngsten Errungenschaften, wie Glühkathodenröhre, Elektronenröhre, Röntgenspektroskopie, Kerntheorie der Atome, Wellenmesser, Strahlungsapparate. *P.*

Lehrbuch der Physik für die oberen Klassen der Oberrealschule. Von Dr. Schumann. Neubearbeitet von Dr. Wilhelm Donle. I. Teil. 104 S. 39 Abb. Gr.-Pr. 1,20. II. Teil. 131 S. 76 Abb. Gr.-Pr. 1,50. III. Teil. 108 S. 67 Abb. Gr.-Pr. 1,25. München und Berlin, R. Oldenbourg 1922.

Der neue Herausgeber hat die Haupteinteilung des Lehrstoffes, die den bayerischen Lehrplänen entspricht, beibehalten. Teil I umfaßt Wage, spezifisches Gewicht, Wärmelehre, Magnetismus. Hier ist namentlich die Darstellung des 1. Hauptsatzes stark erweitert, der 2. Hauptsatz auf Grundlage des Carnotschen Kreisprozesses neu aufgenommen. In Teil II (Elektrizität, Wellenlehre, Akustik), sind zahlreiche Ergänzungen und Neufassungen vorgenommen. In Teil III ist die Mechanik nur wenig geändert, dagegen hat die Optik auf dem Gebiete der Polarisation des Lichtes eine Neubearbeitung, und die Lehre von den elektrischen Wellen und Strahlungen fast durchweg eine Umgestaltung erfahren, die dem Stand der heutigen Kenntnisse entspricht.

Das Buch trägt im ganzen einen vorwiegend dozierenden und insofern akademischen Charakter, es legt mehr Gewicht auf die theoretische Vertiefung als auf die experimentelle Herleitung; es ist zu befürchten, daß dabei mehr die mathematische als die naturwissenschaftliche Seite des Gegenstandes zur Geltung kommt. Anderseits ist die klare und exakte Darstellung durchaus anzuerkennen. *P.*

Grundzüge der Starkstromtechnik. Von Dr.-Ing. K. Hoerner. Mit 319 Textabbildungen und zahlreichen Beispielen. 257 S. Berlin, Julius Springer, 1923. GZ. 4, geb. 5.

Das Buch ist in erster Linie für angehende junge Techniker bestimmt und soll diese vom Standpunkte technischer Praxis aus mit den Erscheinungen der Starkstromtechnik und ihrem inneren Zusammenhang vertraut machen. Theoretische Ableitungen sind auf ein geringes Maß beschränkt, das Verständnis jedoch durch eine große Zahl durchgeführter Beispiele gefördert. Die einzelnen Abschnitte umfassen: Die Grundgesetze des Gleichstroms, dann die des Wechselstroms, die Gleichstrommaschinen, Transformatoren, Wechselstrom, Synchronmaschinen, Asynchronmaschinen. Dem Lehrer der Physik an Realanstalten wird das Buch vielfache Anregung und Belehrung geben können. *P.*

Luftfahrten einst und jetzt. Von Ober-Ing. Franz M. Feldhaus. 2. verb. Auflage. Mit 39 Abbildungen, darunter 16 Bildertafeln. 125 S. Berlin, Hermann Paetel, 1923. GZ. 2, geb. 3,50.

Der mit der Geschichte der Technik vertraute Verfasser bietet hier einen interessanten Rückblick auf die Entwicklung des Flugwesens von den ältesten Zeiten an, der auch alles umfaßt, was Sage und Dichtung von jeher mit der Idee des Fliegenkönnens verknüpft haben. An die Phantasien von lenkbaren Vögeln und Raketenfahrzeugen schließen sich Mitteilungen über Drachen, Maschinenflugzeuge, Schraubenflieger, Ballonflieger, Luftschiffe, wissenschaftliche Aufstiege, Luftwaffen, Fallschirme. Mit Recht sagt der Verfasser an einer Stelle: „Die Geschichte der Luftfahrten ist fast eine endlose Kette von Irrtümern. Wie ein Fluch lastet es auf der ganzen Geschichte der menschlichen Erfindungen, weil hier die Tätigkeit der praktischen und geistigen Vorläufer mißachtet wird.“ Um so erstaunlicher ist, was menschliches Mühen doch schließlich zustande gebracht hat. Die beigegebenen Bilder, namentlich die Tafeln, sind ein unterhaltender, vielfach ergötzlicher Schmuck des Buches. *P.*

Das Problem der Wettervorhersage. Besprochen von Dr. Aug. Schmauss, Direktor der bayerischen Landeswetterwarte, Prof. an der Universität München. — Hamburg 1923, Verlag Henri Grand. G.Z. 3,6.

Ein bewährter Fachmann liefert hier auf 78 Seiten eine populäre Darstellung des stets aktuellen Themas Wettervorhersage. Ausgehend vom Wetterinstinkt der Tiere und Menschen, vom Mondeinfluß, dem 100-jährigen Kalender und den Bauernregeln, über die Treffendes im einzelnen gesagt wird, bringt Schmauß des weiteren die synoptische Meteorologie, das Wesen der barometrischen Hochs und Tiefs, die Grundlagen der tellurischen Luftströmungen, den Wert statistischer Beobachtungen dem Verständnis des Laien nahe, erörtert die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens der Vorhersagen, die Ursachen der Fehlprognosen, den Wert des Wetterdienstes für die Praxis und fordert mit vollem Recht einen guten wetterkundlichen Unterricht in den Schulen. Als ein Versuch, das große Publikum für die Tätigkeit der Wetterforschung zu interessieren, darf die Schmaußsche Schrift begrüßt werden.

R. Hennig.

Die kosmisch-planetare Wettertheorie der Privat-Wetterwarte Borromäum zu Salzburg. Von Matthias Wolfgruber, Kapit. Kanonikus zu Mattsee (Salzburg). — Graz 1923, Verlag Buchhandlung Styria.

Zu 100000 voraufgegangenen einzig unfehlbaren Wettertheorien die 100001 te! Aus Schmuckers Wettertheorie von 1911 und Hörbigers phantastischer „Glazialkosmogonie“ kombiniert, ergibt sich eine Dilettantenschrift, die nicht einmal den Versuch macht, Beweise für ihre krausen Hypothesen zu erbringen.

R. Hennig.

Einführung in das Studium der veränderlichen Sterne. Von Dr. Karl Schiller. Mit

45 Abbildungen im Text. 384 S. Leipzig. Verlag v. J. A. Barth. 1923.

Eine Lücke in der deutschen astronomischen Literatur wird hierdurch ausgefüllt. Fehlte doch bisher eine kurze zusammenfassende Darstellung des Gebietes der veränderlichen Sterne nebst den zur Anwendung gelangenden Forschungsmethoden. Nennt der Verfasser sein Buch auch nur eine Einführung, so bietet es doch ein so reiches Material, dargestellt nach dem neuesten Stande der Forschung, daß nicht nur der Liebhaber und Freund der Astronomie dankbar darnach greifen, sondern auch der Astronom es gern zur Hand nehmen wird, um nicht mit diesem Zweige der in den letzten Jahrzehnten so sehr an Bedeutung und Ausdehnung gewachsenen Astrophysik den Zusammenhang zu verlieren.

Weiß.

Die Methoden der Organischen Chemie (Weyls Methoden). Unter Mitwirkung von (39 namhaft gemachten) Fachgenossen herausgegeben von Prof. Dr. Houben, o. Mitgl. d. biol. Reichsanstalt, Berlin. II. Bd.: Spezieller Teil. 2. völlig umgearbeitete u. erweiterte Aufl. Mit 41 Abb., 2 Tafeln u. 1 Kurve. Leipzig 1922, Georg Thieme. XXVII u. 1115 S. GZ. M. 19.—, geb. M. 24.—.

Der zweite Band des großzügig angelegten Werkes ist gleich dem ersten (*ds. Ztschr. 35, 98*) ein bewundernswertes Zeugnis deutscher Leistungsfähigkeit. Handelte es sich bei jenem um die allgemeinen Operationen und das experimentelle Rüstzeug des Organikers, so enthält dieser die eigentlichen Arbeitsmethoden, die sich auf Grund der klassischen Vorarbeiten des letzten Jahrhunderts herausgebildet haben und jetzt dazu dienen, den großartigen Ausbau der systematischen Organischen Chemie immer weiter zu vollenden. Den Anfang bildet das Doppelkapitel „Oxydation und Reduktion“ (R. Stoermer, Rostock), das auf weit über 300 Seiten den Gesamtstoff klar und übersichtlich in 51 Gruppen zerlegt und am Schluß eine sehr willkommene Zusammenstellung aller Oxydations- und Reduktionsmittel bietet. Sowohl aus diesem wie aus den übrigen 10 Abschnitten werden alle, die naturwissenschaftlichen Unterricht an höheren Schulen zu erteilen haben, nicht nur die mannigfachsten Anregungen, sondern auch unmittelbar verwertbare Angaben hinsichtlich moderner Arbeitsweisen und neuerer Forschungsergebnisse entnehmen können; der mehr biologisch gerichtete z. B. aus den Abschnitten „Katalyse“ (H. Meerwein, Bonn) sowie „Darstellung und Anwendung der wichtigsten Enzyme“ (J. Meisenheimer, Tübingen), der physikalisch orientierte z. B. aus dem Abschnitt „Elektrochemische Methoden“ (K. Arndt, Berlin-Charlottenburg) und dem Schlußkapitel „Belichten“ (vom Herausgeber J. Houben), das aber auch dem Biologen sehr viel bringt. Von diesem photochemischen Abschnitt sei noch lobend hervorgehoben, daß er auch kurze Maßnahmen zum Schutz des Experimentators enthält (gegen kurzwellige Strahlen) und daß Historisches mitverflochten ist; letzteres wäre auch anderwärts noch mehr erwünscht gewesen, z. B. in dem wundervollen Abschnitt über Katalyse durch Zurückgehen auf Mitscherlich und nicht, wie meist üblich, nur auf Berzelius. Die meiste Freude an allen Teilen des Buches werden aber die auf organischem Gebiet weiterarbeitenden Fachgenossen haben — hier seien noch erwähnt die Abschnitte „Verestern und Verseifen“ (K. Hess, Berlin-Dahlem) und „Zerlegung optisch inaktiver Körper in ihre aktiven Komponenten“ (H. Scheibler, Berlin-Charlottenburg). Doch kommen auch die mehr anorganisch eingestellten auf ihre Rechnung, da naturgemäß auch sehr viel Anorganisches mit hineingearbeitet ist, zumal in dem erwähnten Doppelkapitel wie in dem Abschnitt „Kondensation“ (R. Kempf, Berlin-Dahlem). Kurz, das Werk, das berufen ist, die deutsche Chemie wesentlich zu fördern, ist auch für den Schulmann ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Weiterbildung. Seine Reichhaltigkeit ist erstaunlich. Klarheit und Schärfe in der Begriffsbildung, sachkundigste Gründlichkeit in der Bearbeitung, umfassende, man darf wohl sagen, erschöpfende Literaturnachweise sind seine weiteren Hauptkennzeichen. Die Ausstattung ist von der Not der Zeit unberührt geblieben. *O. Ohmann.*

Zeittafeln zur Geschichte der Organischen Chemie. Ein Versuch. Von Professor Dr. E. von Lippmann. Berlin. J. Springer, 1921. IX u. 67 S. G.Z. 2.—.

Es ist eine hübsche Idee, das Heer der organischen Stoffe einmal historisch geordnet zu bieten, derart, daß die Jahreszahl voransteht, dann der heute gebräuchliche Name der Substanz (oder eines bestimmten Begriffes), der des Entdeckers und der Ort der ersten Veröffentlichung folgen. Begonnen ist mit dem Jahre 1500, geschlossen mit 1890. An Übersichtlichkeit würden diese wertvollen Zeitangaben gewinnen, wenn die Jahreszahl am Zeilenanfang nicht jedesmal wiederholt wäre (z. B. 21mal 1868 untereinander), sondern nur einmal gegeben würde, vielleicht in stärkerem Druck, und darunter 20mal Wiederholungsstriche; das Ganze würde dadurch auch mehr, der Grundidee entsprechend, zu „Tafeln“ über die einzelnen Jahre werden. Trotz der Kürze — die meisten Angaben nehmen nur 1 bis 2 Zeilen ein — wird ungemein viel geboten, zumal der Verfasser auch bemüht ist, oft etymologische Erklärungen in Fußnoten zu geben; diese könnten noch einer Revision unterzogen werden. So hat das griechische Wort chole (Galle) kein ω, sondern ein o, Aldehyd wurde von Liebig nicht aus „Alkohol dehydroxydatus“, sondern dehydrogenatus abgeleitet u. a. Wer nicht die wundervolle „Geschichte der Organischen Chemie“ von Graebe (*ds. Ztschr. 34, 238*) besitzt, wird diese Zeittafeln mit großem Vorteil zur Hand nehmen. Zur Hebung geschichtlicher Kenntnis ist ihnen weiteste Verbreitung zu wünschen. *O. Ohmann.*

Das Mineralreich, mit besonderer Berücksichtigung der Verbreitung, Gewinnung und Verwertung der Mineralien. Von Dr. KARL SCHULZ, Berlin. Mit 30 farbigen Tafeln und 86 Abbild. Aus der „Samml. naturw. Bücher für Schule und Haus: Das Naturreich", herausgeg. von Prof. Dr. Bastian Schmid, München. Wiesbaden, Pestalozzi-Verlagsanstalt 1923. XI und 207 S. Geh. M. 12.

Das sorgfältig gearbeitete und vortrefflich ausgestattete Buch ist wohl geeignet, der vielfach verkannten Mineralkunde neue Freunde aus den verschiedensten Kreisen zuzuführen. Die allgemeine Mineralogie ist in zweckmäßiger Ausführlichkeit behandelt. Im kristallographischen Abschnitt werden die 32 Klassen bzw. Symmetriegruppen behandelt und die wichtigsten, etwa die Hälfte, den 7 Kristallsystemen eingereiht (7, da hexagonal und trigonal getrennt werden). Begonnen wird dementsprechend mit dem triklinen System, dem das monokline und rhombische folgen. Ob die Schulkristallographie — wenn sie erst einmal, gemäß den neuen Meraner Lehrplänen, vom mathematischen (stereometrischen) Unterricht übernommen sein wird — der von Anfang an mit starken Abstraktionen arbeitenden Hochschulkristallographie so weit wird folgen können, oder ob sie eigene, einfachere und in jene schließlich nur einmündende Wege wird einschlagen müssen, bleibe hier unerörtert. Aber auch aus dem so Gebotenen wird der Schulmann manche Anregungen erhalten; vielleicht könnte das Physikalische noch stärker hervortreten, z. B. wäre eine Abbildung zur Wärmeleitung erwünscht. Die wichtige Frage, wie Chemie und Mineralogie unterrichtlich zu verknüpfen seien, wird nicht berührt; vielmehr tritt die chemische Zusammensetzung im ganzen etwas zurück und wird beim einzelnen Mineral nur in Klammern beigefügt. Die farbigen Abbildungen, die zum Teil vorzüglich, zum Teil weniger naturgetreu ausgefallen sind, tragen zur Belebung des Ganzen erheblich bei. Unter den Abbildungen von Achat, Katzenauge, Bernstein u. a. könnten die Eingriffe von Menschenhand durch Bemerkungen wie angeschliffen, geformt usw. angedeutet sein. Durch kurze Bestimmungstabellen würde das Buch sehr gewinnen. Die treffliche Arbeit sei allgemeiner Beachtung empfohlen. *O.*

Korrespondenz.

Erfahrungen am Schulfernrohr für Himmelsbeobachtung. Von WILHELM VOLKMANN, Berlin-Steglitz.

Nach den in dieser Zeitschrift 35, 21—23, 1922 veröffentlichten Vorschlägen der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht haben mehrere Werkstätten mit dem Bau des Schulfernrohres begonnen. Als erste hat die C. P. Goerz A. G. (in Friedenau, Rheinstraße) mich eingeladen, ein solches Schulfernrohr zu besichtigen und zu prüfen. Die Ergebnisse der Prüfung bestätigen durchaus, daß mit dem Zweizöller alle für die Schule in Betracht kommenden Beobachtungen leicht und bequem ausführbar sind, und daß die vorgeschlagenen Brennweiten von Objektiv und Okularen zweckmäßig gewählt sind. Die ausgezeichnete Beschaffenheit des Objektivs erlaubte aber noch einige Erfahrungen zu sammeln, für die mein mangelhaftes Rohr, an dem ich die entscheidenden Beobachtungen seinerzeit *(ds. Ztschr. 34, 263—264, 1921)* gemacht habe, nicht ausreichte. Ich ließ wieder durch einen ungeübten Beobachter meinen Befund prüfen und stellte denselben Doppelstern von verschiedenen Stellen des Gartens durch Baumlücken ein, so daß er nicht wiedererkannt wurde. Die Angaben wurden ohne Zögern mit völliger Sicherheit gemacht. Benutzt wurde ein einfaches Ramsdenokular von 10 mm Brennweite, Vergrößerung also 60fach (gemessen 57fach). Kastor 5,7″ wurde leicht, γ Leonis 3,6″ sicher aufgelöst, ε Lyrae 3,2″ einmal als doppelt, zweimal als länglich mit Einschnürung in der Mitte bezeichnet, 5 Lyrae 2,4″ sicher länglich gesehen. Da die Position jedesmal richtig angegeben wurde, ist auch dieser Befund unzweifelhaft. Es genügte also ein scheinbarer Winkel von etwa 210″ zur sicheren Trennung von Doppelsternen, was zu der Angabe stimmt, daß sehr scharfe Augen ε und 5 *Lyrae* 207″ noch getrennt sehen. Mädler (Wunderbau des Weltalls, Einleitung zum Abschnitt Doppelsterne) bestreitet auf Grund eingehender Versuche mit Fernrohren verschiedenster Größe, daß unter 5′ Auflösung möglich sei, meine eigenen Versuche führten bisher auch auf 5′ als Grenze. Die jetzigen Versuche beweisen einerseits die Vortrefflichkeit des Goerzschen Objektives, andererseits aber auch, daß bis mindestens zu dieser Vergrößerung das billige Ramsdenokular vollkommen genügt. Hiernach dürfte es zweckmäßig sein, das Übersichtokular von 50 mm Brennweite nach Huygens, das Hauptokular (13 mm) nach Ramsden und das starke Ergänzungsokular (6 mm) in einer Form mit großem Augenabstand zu wählen.

Für die Oberrealschule I in Kiel ist im letzten Jahre eine **Demonstrations-Schalttafel** beschafft worden, die sich von den üblichen vorteilhaft dadurch unterscheidet, daß der Stromverlauf auf der Vorderseite sichtbar ist und auch von den Schülern bequem verfolgt werden kann. Die Tafel ist von der Firma Heustreu in Kiel gebaut. Ein Doppelkurbelwiderstand in Verbindung mit einem Nebenschlußschalter ermöglicht es, den Widerstand entweder als Vorschalt- oder Abzweigwiderstand zur Entnahme

von Niederspannung zu verwenden, Messingschienen von 1 cm Breite und 0,4 cm Dicke bilden die Strombahn. Die einzelnen Stromkreise sind durch verschiedenfarbigen Anstrich (und zwar zweifarbig, wo zwei verschiedene Kreise die gleiche Bahn benutzen) gekennzeichnet. Die nach Deprez-d'Arsonval gebauten Meßapparate gestatten den Einblick, ebenso ihre Umschalter. Die Wehre zwischen den Verzweigungspunkten der beiden zum Amperemeter hinführenden Leitungen bestehen aus gewellten Messingschienen; hierdurch und durch Verwendung schmaler Schienen zum Amperemeter ist an diesen Stellen die Verzweigung besonders veranschaulicht worden. Der Vorschaltwiderstand des dem Amperemeter gleichenden Voltmeters sitzt frei auf der Marmortafel. So ist, wie eine einjährige Unterrichtserfahrung bestätigt hat, ein Schaltbrett geschaffen worden, das gegenüber dem alten eine Verbesserung in methodischer Hinsicht bedeutet.

Dr. Gurski, Kiel.

Nachträgliches zum Aufsatz von H. HERMANN **„Beiträge zur Darstellung des Elektromagnetismus und der Induktion"** (Bd. 34, 51; 1921).

Zu S. 51, letzte Zeile: Man hat in diesem Falle die äußersten 4/144 oder 3% des Halbmessers zu vermeiden. Beim Vergleich des Randwertes mit dem Mittelwert ist der Faktor cos ψ als unerheblich weggelassen, für $v = 1:6$ beträgt er 0,9965. Berücksichtigt man ihn und rechnet goniometrisch, so erhält man für die Randzunahme 11,8% statt 10%.

Zu S. 58, Zeile 5: Die Anwendbarkeit der Helmholtzschen Anstiegsformel auf die ebene Stromschicht setzt Beharrungsvermögen voraus, das hier nicht wie in Abschnitt 5 begründet werden kann, sondern als besondere, übrigens wohlbegründbare Eigenschaft (sei es Beharrung der als Ganzes bewegten geladenen Ebene oder der Ionen) angesetzt werden muß. Die Arbeitsleistung für die Ausbreitung des Feldes ist der Geschwindigkeit proportional, so daß ein dieser ebenfalls proportionaler, d. h. Stokes-Ohmscher Widerstand hinzugefügt werden kann, ohne an der Gestalt der Lösung etwas zu ändern. (Im Einzelnen im math.-physikal. Verein der Univ. Tübingen im S. S. 1922 vorgetragen.)

Einige Berichtigungen: S. 50, Z. 19 st. π lies 2π; S. 54 Kleindruck Z. 9 st. r^3 lies r^2. S. 58 Z. nach Gl. 16 st. 33124 lies ds. Ztschr. 33, 124. S. 61 Z. 6 u. 11 st. $2\pi\ nii'v$ lies $2\pi\ n^2 ii'v$; Z. 8 st. — Hv lies $= Hv$; Z. 10 streiche „beiden".

H. Hermann, Tübingen.

Zur Bestimmung der Gravitationskonstante. In Heft 1 dieses Jahrgangs, S. 70, weist Herr HERMANN hin auf die Boyssche Anordnung, die eine Kugel des Torsionspendels tiefer zu hängen und dadurch die Einwirkung auf die entferntere Kugel bedeutend herabzudrücken. Dazu darf ich bemerken, daß mir diese Einrichtung wohl bekannt war, aber in meiner Arbeit *(ds. Ztschr. 35, 153)* nicht erwähnt wurde, weil sie bei meiner Anordnung nicht verwendet wurde und auch nicht verwendet werden konnte, es sei denn, daß man die schweren Kugeln bei jeder Umschaltung auch auf das andere Niveau bringen würde, wodurch aber die ganze Einfachheit der Vorrichtung verschwunden wäre.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich mir gestatten, noch auf einige Unrichtigkeiten in der Arbeit von NAGELE über denselben Gegenstand *(ds. Ztschr. 33, 81)* hinzuweisen, da sie sonst leicht zu Verwirrung Anlaß geben könnten. Herr NAGELE betrachtet S. 85 den Ausdruck, durch welchen er schließlich die Gravitationskonstante aus den verschiedenen gemessenen Größen berechnet und findet es bemerkenswert, daß die Masse der Pendelkugeln aus der Formel herausfällt, ähnlich (nach Ansicht des Verfassers) wie die Polstärke bei der Tangentenbussole. Dazu ist zu erwidern, daß die Pendelmasse sich keineswegs forthebt. Denn in dem Ausdruck steht auch noch die Schwingungsdauer T, die eine von m abhängige Größe hat, und zwar ist T^2 gerade bei einem gewichtslos gedachten Pendelbalken dem Trägheitsmoment, also der Masse der Pendelkugeln genau proportional. Der Hinweis auf die Tangentenbussole ist auch nicht zutreffend, weil beim Torsionspendel nur die ablenkende Kraft den Massen proportional ist, während die rücktreibende Kraft in der Torsion des Aufhängedrahtes liegt, die nur von den Eigenschaften dieses Drahtes selber abhängt.

Th. Wulf.

Berichtigung zu dem Aufsatz über „Die Bestimmung des Lichtbrechungsexponenten von Flüssigkeiten" in ds. Ztschr. 1923, Heft 1, S. 24—26.

Zufolge einer Mitteilung des Herrn J. WÜRSCHMIDT in der Physikal. Ztschr. 24, 1923, S. 14ff. muß die Formel (5) richtig lauten:

$$\operatorname{tg}\frac{\omega}{2} = \sqrt[3]{\operatorname{tg}\frac{\chi}{2}\cdot\operatorname{tg}^4\frac{m}{2}},\quad \text{wo } \cos m = \frac{r}{e}.$$

Formel (6) ist richtig und findet sich bereits angegeben in einer Arbeit des Herrn WÜRSCHMIDT in den Monatsheften für den naturw. Unterricht 1911, S. 103. *Dr. C. Schmidt.*

Herr Professor O. OHMANN, seit 22 Jahren Mitherausgeber dieser Zeitschrift, vollendet am 22. Oktober d. J. sein siebzigstes Lebensjahr.

Himmelserscheinungen im November und Dezember 1923.

Stundenzählung astronomisch. 0^h = Mittag, 12^h = Mitternacht, z. B. Dezember 22, $20^h\,10^m$ = Dezember 23, $8^h\,10^m$ vormittags bürgerlich; Dezember 2, $25^h\,42^m$ = Dezember 3, $1^h\,42^m$.

MEZ 0^h	November 2	7	12	17	22	27	Dezember 2	7	12	17	22	27	Jan. 1
☿ AR	$13^h\,56^m$	14.27	14.58	15.30	16.2	16.35	17.9	17.43	18.17	18.50	19.21	19.46	20.2
☿ D	$-10{,}5^0$	−13,7	−16,7	−19,4	−21,6	−23,4	−24,7	−25,5	−25,6	−25,2	−24,2	−22,6	−20,8
♀ AR	$15^h\,22^m$	15.47	16.13	16.40	17.6	17.34	18.1	18.28	18.56	19.23	19.50	20.16	20.42
♀ D	$-18{,}4^0$	−20,0	−21,5	−22,7	−23,6	−24,2	−24,5	−24,5	−24.2	−23,6	−22,7	−21,5	−20,0
☉ AR	$14^h\,26^m$	14.46	15.6	15.27	15.48	16.9	16.30	16.52	17.14	17.36	17.58	18.20	18.43
☉ D	$-14{,}5^0$	−16,0	−17,5	−18,8	−20,0	−21,0	−21,8	−22,5	−23,0	−23,3	−23,4	−23,4	−23,1
♂ AR	$12^h\,38^m$	12.49	13.1	13.13	13.25	13.37	13.49	14.1	14.13	14.26	14.38	14.51	15.4
♂ D	$-2{,}9^0$	−4,2	−5,4	−6,7	−7,9	−9,1	−10,3	−11,4	−12,5	−13,6	−14,6	−15,6	−16,6
♃ AR	$15^h\,32^m$		15.41		15.50		15.59		16.8		16.17		16.26
♃ D	$-18{,}3^0$		−18,9		−19,4		−19,8		−20,3		−20,7		−21,0
♄ AR	$13^h\,36^m$				13.44				13.52				13.59
♄ D	$-7{,}6^0$				−8,4				−9,0				−9,5

Δ = **Sternzeit i. mittl. Mittag v. Stargard**; für östl. bzw. westl. Länge λ^0 v. Greenwich $\mp\ \lambda \cdot 0.657^s + 9{,}86^s$

Zeitgl. = Mittl. Z. − Wahre Z.

Δ	$14^h\,42^m\,46^s$	15. 2.29	15. 22.12	15. 41.55	16. 1.38	16. 21.20	16. 41.3	17. 0.46	17. 20.29	17. 40.11	17. 59.54	18. 19.37	18. 39.20
Zeitgl.	$-16^m\,22^s$	−16.18	−15.53	−15.7	−14.1	−12.35	−10.50	−8.49	−6.35	−4.12	−1.44	+0.45	+3.11

Breite von Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Untergang u. folg. Aufgang d. ob. ☉-Randes. MEZ.

☉ Unterg.	$4^h\,30^m$	4.21	4.13	4.6	3.59	3.54	3.50	3.47	3.46	3.48	3.51	3.56
☉ Aufg.	$18^h\,58^m$	19.7	19.16	19.25	19.34	19.42	19.49	19.56	20.1	20.7	20.10	20.11	20.11

Breite von Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Aufgang u. folg. Untergang d. ob. ☾-Randes. MEZ.

☾ Aufg.	$11^h\,47^m$	18.22	—	2.6	4.2	7.28	13.11	19.49	23.46	1.19	3.44	8.33	14.49
☾ Unterg	$26^h\,18^m$	28.44	8.4	13.40	18.57	23.14	25.42	28.44	34.19	14.42	19.42	22.55	25.14

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
				Nov. 1. $9^h\,48.9^m$
	Nov. 8. $4^h\,27.0^m$	Nov. 14. $22^h\,41.1^m$	Nov. 23. $1^h\,57.9^m$	Nov. 30. $23^h\,9.2^m$
	Dez. 7. $14^h\,30.4^m$	Dez. 14. $15^h\,37.9^m$	Dez. 22. $20^h\,33.0^m$	Dez. 30. $10^h\,7.1^m$

Verfinsterungen der **Jupitertrabanten I, II, III.** E: Eintritt, A: Austritt. MEZ.

I	II	III
—	Dezember 31. $18^h\,1.8^m$ E	Dezember 24. $18^h\,16.4^m$ A

Tägliches **Erscheinen** und **Verschwinden** der **Planeten.** Breite von Berlin. Länge v. Stargard.

MEZ	☿ Morgenstern	♀ Abendstern	♂ (J, Wg)	♃ (Wg)	♄ (J)
Nov. 1.	—	(D_a 5,0)	A 16,1 D_m 17,8	—	(D_m 17,5)
„ 11.	—	D_a 4,7 U 5,1	A 16,0 D_m 18,1	—	A 17,0 D_m 18,0
„ 21.	—	D_a 4,5 U 5,1	A 15,9 D_m 18,4	—	A 16,4 D_m 18,3
Dez. 1.	—	D_a 4,5 U 5,2	A 15,9 D_m 18,6	—	A 15,8 D_m 18,5
„ 11.	Abendstern	D_a 4,5 U 5,5	A 15,8 D_m 18,8	A 18,5 D_m 18,9	A 15,3 D_m 18,7
„ 21.	D_a 5^h U $5{,}2^h$	D_a 4,4 U 5,9	A 15,8 D_m 19,0	A 18,0 D_m 19,1	A 14,7 D_m 18,9
„ 31.	D_a 5^h U $5{,}6^h$	D_a 4,5 U 6,4	A 15,7 D_m 19,0	A 17,6 D_m 19,1	A 14,1 D_m 18,9

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden i. d. Dämmerung.

Mars in **Konjunktion** mit **Saturn** (Mars 1° 30′ südl.) Dezember 1. 21^h.

Venus in **Konjunktion** mit dem **Mond**, Dezember 9. 6^h.

Merkur in gr. östl. Elong. (19° 46′) Dezember 27. 5^h.

Sternbedeckungen: Aldebaran, November 23. $19^h\,13.3^m$.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Univ.-Druckerei H. Stürtz A. G., Würzburg.